



TUGAS AKHIR – RC14 1501

**STUDI KINERJA TIGA RUNWAY PARALEL DI  
BANDARA SOEKARNO - HATTA**

TENGGU ANNISA  
NRP. 3113 106 006

DOSEN PEMBIMBING:  
Ir. Ervina Ahyudanari, ME., PhD

JURUSAN TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2016



TUGAS AKHIR – RC14 1501

**STUDI KINERJA TIGA RUNWAY PARALEL DI  
BANDARA SOEKARNO - HATTA**

TENGGU ANNISA  
NRP. 3113 106 006

DOSEN PEMBIMBING:  
Ir. Ervina Ahyudanari, ME., PhD

JURUSAN TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2016



FINAL YEAR PROJECT – RC14 1501

**PERFORMANCE STUDY OF THREE PARALLEL  
RUNWAYS IN SOEKARNO – HATTA AIRPORT**

TENGGU ANNISA  
NRP. 3113 106 006

SUPERVISOR:  
Ir. Ervina Ahyudanari, ME., PhD

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING  
Faculty of Civil Engineering and Planning  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2016



FINAL YEAR PROJECT – RC14 1501

**PERFORMANCE STUDY OF THREE PARALLEL  
RUNWAYS IN SOEKARNO – HATTA AIRPORT**

TENGGU ANNISA  
NRP. 3113 106 006

SUPERVISOR:  
Ervina Ahyudanari, Ir. ME., PhD

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING  
Faculty of Civil Engineering and Planning  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2016

**STUDI KINERJA TIGA RUNWAY PARALEL DI  
BANDARA SOEKARNO - HATTA**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada

Program Studi S-1 Lintas Jalur Jurusan Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**TENGGU ANNISA**

NRP. 3113106006

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

1. Ir. Ervina Ahyudanari, ME, PhD  
(NIP. 196902241995122001)



**SURABAYA  
JULI, 2016**

## STUDI KINERJA TIGA RUNWAY PARALEL DI BANDARA SOEKARNO-HATTA

**Nama Mahasiswa** : Tengku Annisa  
**NRP** : 3113 106 006  
**Jurusan** : Teknik Sipil FTSP-ITS  
**Dosen Pembimbing** : Ir. Ervina Ahyudanari, ME., PhD

### **Abstrak**

*Pesawat terbang adalah salah satu sarana transportasi yang banyak digunakan bagi negara Indonesia yang merupakan negara kepulauan. Akan tetapi penundaan (delay) penerbangan menjadi salah satu masalah yang sering terjadi di bandara.*

*Untuk meningkatkan kualitas pelayanan, bandara internasional Soekarno-Hatta melakukan penambahan runway, sehingga runway menjadi tiga runway paralel. Runway tersebut ditargetkan mampu untuk menampung jumlah pergerakan pesawat hingga tahun 2020. Tugas akhir ini mencoba untuk mengetahui apakah kapasitas dari runway yang direncanakan dapat memenuhi target yang telah ditetapkan. Di dalam tugas akhir ini akan ditinjau pola distribusi kategori pesawat dan distribusi pergerakan keberangkatan/kedatangan pesawat yang berpengaruh pada runway, kemudian akan dilakukan simulasi pergerakan pesawat untuk mendapat kapasitas pada runway.*

*Dari tugas akhir didapatkan hasil persentase distribusi kategori pesawat yang digunakan adalah sebesar C : 45% dan D : 55%. Distribusi pergerakan pesawat untuk runway 1 adalah keberangkatan: 59% dan kedatangan: 41%, untuk runway 2 adalah keberangkatan: 32,5% dan kedatangan: 67,5% sedangkan untuk runway 3 adalah keberangkatan: 40% dan kedatangan: 60%. Hasil perhitungan simulasi pergerakan pada peak hour didapatkan sebesar 124 pergerakan per jam. Diketahui dari data bahwa pergerakan pesawat peak hour pada tahun 2020 adalah sebesar 148 pergerakan per jam. Dengan hasil yang didapat*

*maka disimpulkan bahwa target pergerakan pesawat tidak dapat terpenuhi dengan penambahan runway menjadi tiga runway paralel.*

***Kata kunci : Paralel runway, Pergerakan pesawat, Simulasi, Kinerja runway.***

## PERFORMANCE STUDY OF THREE PARALLEL RUNWAYS IN SOEKARNO-HATTA AIRPORT

**Name** : Tengku Annisa  
**NRP** : 3113 106 006  
**Departement** : Teknik Sipil FTSP-ITS  
**Lecturer Supervisor** : Ir. Ervina Ahyudanari, ME., PhD

### **Abstract**

*Plane is one of means transportation used in indonesia which is an archipelago country. However, flight delays become one of issues that often happen in airport.*

*To improve the quality of service, the international airport Soekarno-Hatta make an additional runway, so the runway into three parallel runway. The runway is targeted to be able to accommodate the number of aircraft movements until 2020. This final task is try to determine whether the planned capacity of the runway meet the set target. this final task will review about the distribution of plane category and the distribution of departure/arrival movements of aircraft which affect the runway, and then aircraft movements will be simulated to get on runway capacity.*

*The outcome from final task show the percentage distribution of aircraft categories used are C: 45% and D: 55%. Distrbution of aircraft movement for runway 1 is 59% and 41% for departure and arrival respectively, runway 2 has 32.5% and 67.5% for departure and arrival, while runway 3 has 40% and 60%% for departure and arrival. The simulation results obtained movement at the peak hour is 124 movements. It is known from the data that the peak hour of aircraft movements in 2020 is 148 movements. With the obtained results it is concluded that the target air movement can not be fulfilled by the addition of a runway into three parallel runway.*



***Keywords : Parallel runway, Aircraft movements, Simulation,  
Runway performance.***

## DAFTAR ISI

**HALAMAN JUDUL**

**HALAMAN PENGESAHAN**

<b>ABSTRAK.....</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>iii</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xii</b>

**BAB I PENDAHULUAN .....** **1**

1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	5
1.3 Tujuan Masalah .....	5
1.4 Batasan Penelitian .....	5
1.5 Manfaat Penelitian .....	6

**BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....** **7**

2.1 Gambaran Umum Bandara .....	7
2.2 Kapasitas <i>Runway</i> .....	7
2.3 Konfigurasi <i>Runway</i> .....	8
2.4 Pola Operasional <i>Runway</i> Paralel .....	12
2.5 <i>Time Space Analysis</i> .....	13
2.5.1 Pengembangan Model untuk Kedatangan ( <i>Arrival Only</i> ) .....	14
2.5.2 Pengembangan Model untuk Keberangkatan ( <i>Departure Only</i> ).....	23
2.5.3 Pengembangan Model untuk Operasi Campuran ( <i>Mixed Operation</i> ) .....	24

2.6	Kategori Pesawat .....	27
2.7	Peraturan Pemisah Pesawat .....	28
2.8	Metode Perhitungan Jam Puncak ( <i>peak hour</i> ) .....	30
2.9	Teori Simulasi .....	32
2.10	Studi Terdahulu .....	33
<b>BAB III METODOLOGI .....</b>		<b>35</b>
3.1	Umum .....	35
3.2	Studi Literatur .....	36
3.3	Pengumpulan Data .....	36
3.3.1	Jadwal Kedatangan dan Keberangkatan Pesawat .....	36
3.3.2	Data <i>Runway</i> Bandara Soekarno-Hatta .....	36
3.4	Analisa Data .....	37
3.4.1	Kecepatan Landing/Take off Pesawat Rata-rata .....	37
3.4.2	<i>Peak Hour</i> .....	37
3.4.3	Jarak Pemisah Minimum .....	38
3.5	Penentuan Kapasitas <i>Runway</i> Eksisting .....	38
3.6	Simulasi Pergerakan <i>Runway</i> Eksisting .....	38
3.7	Simulasi Pergerakan <i>Runway</i> Tiga Paralel .....	38
3.8	Kesimpulan .....	39
<b>BAB IV ANALISA DATA .....</b>		<b>41</b>
4.1	Penentuan <i>Peak Hour</i> .....	41
4.2	Perhitungan Kapasitas <i>Runway</i> Eksisting .....	43
4.2.1	Kapasitas Eksisting <i>Runway</i> 1 Menggunakan Metode Matematis .....	49
4.2.2	Kapasitas Eksisting <i>Runway</i> 2 Menggunakan Metode Matematis .....	59

4.3	Simulasi <i>Runway</i> Eksisting Menggunakan Metode <i>Time Space Analysis</i> .....	66
4.3.1	<i>Runway</i> 1 .....	68
4.3.2	<i>Runway</i> 2 .....	76
4.4	Kontrol Prinsip Simulasi .....	82
4.4.1	<i>Time Space Diagram Runway</i> 1 .....	82
4.4.2	<i>Time Space Diagram Runway</i> 2 .....	84
<b>BAB V DESAIN SIMULASI MODEL .....</b>		<b>87</b>
5.1	Peramalan <i>Peak Hour</i> pada Tahun 2020 .....	89
5.2	Simulasi Kapasitas <i>Runway</i> Tahun 2020.....	94
5.2.1	Simulasi <i>Runway</i> 1 Tahun 2020 .....	96
5.2.2	Simulasi <i>Runway</i> 2 Tahun 2020 .....	98
5.2.3	Simulasi <i>Runway</i> 3 Tahun 2020 .....	101
<b>BAB VI KESIMPULAN .....</b>		<b>107</b>
6.1	Kesimpulan .....	107
6.2	Saran.....	109
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>111</b>
<b>LAMPIRAN</b>		

## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Perkiraan pertumbuhan lalu lintas udara bandara CGK.....	3
Tabel 2.1	Minimum <i>arrival-arrival</i> separation pada kondisi IMC .....	29
Tabel 2.2	Minimum <i>departure-departure</i> separation pada kondisi IMC .....	29
Tabel 2.3	Minimum <i>arrival-arrival</i> separation pada kondisi VMC.....	30
Tabel 2.4	Minimum <i>departure-departure</i> separation pada kondisi VMC .....	30
Tabel 4.1	Data pergerakan pesawat selama seminggu .....	41
Tabel 4.2	Perhitungan <i>peak hour</i> .....	42
Tabel 4.3	Kategori pesawat berdasarkan kecepatan menurut FAA .....	44
Tabel 4.4	Karakteristik jenis pesawat pada penerbangan pukul 12:45 PM – 1:45 PM... ..	44
Tabel 4.5	Jadwal penerbangan pada <i>peak hour</i> untuk keberangkatan/ <i>departure</i> .....	45
Tabel 4.6	Jadwal penerbangan pada <i>peak hour</i> untuk kedatangan/ <i>arrival</i> .....	47
Tabel 4.7	Pembagian pergerakan <i>runway</i> 1 dan 2.....	49
Tabel 4.8	Jadwal kedatangan dan keberangkatan <i>runway</i> 1 .....	50
Tabel 4.9	Pembagian kategori pesawat di <i>runway</i> 1 .....	56
Tabel 4.10	Jadwal kedatangan dan keberangkatan <i>runway</i> 2 .....	59
Tabel 4.11	Pembagian kategori pesawat di <i>runway</i> 2 .....	63
Tabel 4.12	Data kecepatan dan panjang kebutuhan pesawat pada saat <i>peak hour</i> di <i>runway</i> .....	67
Tabel 4.13	Rekap pemisah minimum antar pesawat.....	69
Tabel 4.14	Rekap jarak <i>exit taxiway runway</i> 1 .....	72

Tabel 4.15	Perhitungan kapasitas eksisting <i>runway</i> 1 berdasarkan <i>time space analysis</i> .....	73
Tabel 4.16	Rekap jarak <i>exit taxiway runway</i> 2 .....	76
Tabel 4.17	Perhitungan kapasitas eksisting <i>runway</i> 2 berdasarkan <i>time space analysis</i> .....	77
Tabel 5.1	Jumlah dan persentase pergerakan perjam pada hari Rabu 15 Juli 2015 .....	88
Tabel 5.2	Jumlah pembagian pergerakan perjam tahun 2020 .....	91
Tabel 5.3	Kecepatan dan ROT rata-rata pesawat .....	94
Tabel 5.4	Pembagian kategori pesawat .....	94
Tabel 5.5	Persentase kedatangan/keberangkatan untuk setiap <i>runway</i> .....	95
Tabel 5.6	Perhitungan simulasi kapasitas <i>runway</i> 1 tahun 2020 .....	96
Tabel 5.7	Perhitungan simulasi kapasitas <i>runway</i> 2 tahun 2020 .....	99
Tabel 5.8	Perhitungan simulasi kapasitas <i>runway</i> 3 tahun 2020 .....	101

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Grafik pertumbuhan pergerakan pesawat pada tahun 2001-2013 .....	2
Gambar 1.2	Runway eksisting bandara Soekarno-Hatta.....	3
Gambar 1.3	Detail layout rencana bandara Soekarno-Hatta.....	4
Gambar 2.1	Unsur-unsur runway.....	8
Gambar 2.2	Runway tunggal .....	9
Gambar 2.3	Runway sejajar.....	9
Gambar 2.4	Runway bersilangan.....	10
Gambar 2.5	Runway V terbuka.....	11
Gambar 2.6	Runway ganda.....	12
Gambar 2.7	Konsep diagram waktu-jarak untuk operasi campuran dalam sebuah sistem runway .....	13
Gambar 2.8	Diagram waktu-jarak untuk antar kedatangan keadaan merapat.....	17
Gambar 2.9	Diagram waktu-jarak untuk antar kedatangan keadaan merenggang.....	19
Gambar 2.10	Diagram waktu-jarak untuk operasi campuran	17
Gambar 3.1	Diagram alir metodologi .....	35
Gambar 4.1	Perbandingan kapasitas <i>runway</i> antara metode matematis dan perhitungan simulasi .....	81
Gambar 4.2	Time space diagram runway 1 .....	83
Gambar 4.3	Time space diagram runway 2 .....	85
Gambar 5.1	Diagram alir langkah simulasi.....	86
Gambar 5.2	Grafik jumlah pergerakan perjam pada tanggal 15 juli 2015 .....	90
Gambar 5.3	Pertumbuhan pergerakan pesawat di bandara soekarno-Hatta tahun 2015 dan tahun 2020.....	93
Gambar 5.4	Perbandingan pergerakan pesawat dan kapasitasnya .....	104

# BAB I

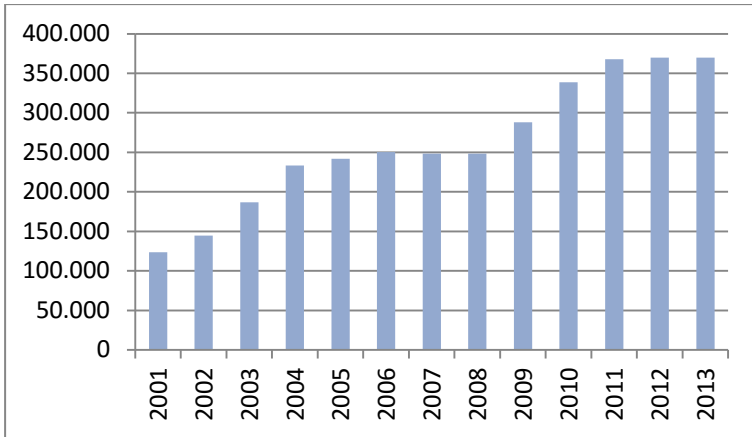
## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pesawat terbang merupakan salah satu sarana transportasi yang banyak digunakan saat ini, khususnya bagi negara Indonesia yang merupakan negara kepulauan dimana transportasi udara sangat berperan penting bagi kelancaran aktivitas penduduknya. Badan Pusat Statistik (BPS) mencatat jumlah penumpang udara di sejumlah Bandara di Indonesia pada tahun 2014 mencapai 72,6 juta orang, naik 5,6 persen dari tahun 2013 sebanyak 68,5 juta orang. Saat ini, di bandara internasional Soekarno-Hatta terjadwal sekitar 1.200 penerbangan setiap hari. Jumlah penerbangan tersebut menetapkan bandara Soekarno-Hatta sebagai bandara tersibuk di Indonesia serta masuk ke dalam daftar 10 bandara tersibuk di dunia menurut *Airport Council International* ([www.ilmupengetahuanumum.com](http://www.ilmupengetahuanumum.com), 2014).

Setiap tahun peningkatan pergerakan pesawat yang sejalan dengan tingginya pertumbuhan jumlah penumpang transportasi udara mengakibatkan terjadinya penundaan (*delay*) panjang baik untuk pesawat yang akan mendarat atau pesawat yang akan lepas landas. Hal ini karena, bandara sebagai tempat berjalannya kegiatan transportasi udara memiliki jumlah kapasitas pelayanan yang terbatas dan berbeda-beda setiap bandara. Peningkatan pertumbuhan penumpang ini jika tidak diiringi oleh penambahan kapasitas bandara akan menyebabkan terjadinya daya tampung yang berlebih (*over capacity*). Kapasitas *runway* dipengaruhi oleh bentuk dan jumlah dari *runway*, *taxiway* dan *apron* yang digunakan. Selain itu, waktu pengaturan pergerakan pesawat juga mempengaruhi besar kapasitas *runway* suatu bandara. Pertumbuhan pergerakan pesawat di bandara Soekarno-Hatta dari tahun 2001 hingga tahun 2013 dapat dilihat pada gambar 1.1





Sumber: [www.airports.org](http://www.airports.org)

**Gambar 1.1** Grafik pertumbuhan pergerakan pesawat pada tahun 2001-2013

Pada awal pembangunannya, bandara internasional Soekarno-Hatta memiliki dua *runway* berbentuk paralel yang dipisahkan oleh 2 *taxiway* sejauh 2,4 km. Untuk meningkatkan kapasitas landas pacu bandara, maka direncanakan penambahan *runway*. Pembangunan *runway* dibagi menjadi 2 tahap, dengan masing-masing tahap dilakukan penambahan 1 *runway* sehingga jumlah *runway* yang ada di Bandara Soekarno-Hatta menjadi 4 *runway*. Tugas akhir ini akan membahas pembangunan tahap 1 yang akan dilaksanakan pada tahun 2015 dan diperkirakan selesai pada tahun 2017. Akhir dari pembangunan tahap 1 adalah *runway* yang beroperasi di bandara Soekarno-Hatta menjadi *runway* dengan jenis tiga paralel. Pada Tugas akhir ini akan dilakukan simulasi yang akan memberikan gambaran kapasitas *runway* dari ketiga paralel *runway* tersebut. Apakah *runway* bisa menampung pertumbuhan kapasitas yang diperkirakan terjadi pada tahun 2020. Pada tabel 1.1 dapat dilihat perkiraan pertumbuhan lalu lintas udara bandara Soekarno-Hatta.

**Tabel 1.1** Perkiraan pertumbuhan lalu lintas udara bandara CGK

NO	PHASE	EXISTING (2013)	STAGE 1 (2020)
1	Runway	R/W 1 :3.660 × 60 m R/W 2 :3.600 × 60 m	R/W 1 :3.660 × 60 m R/W 2 :3.600 × 60 m R/W 3 :3.000 × 60 m (2017)
	Aircraft Movement	399.430/year	729.886/year
2	Passenger Terminal	334.060 m <sup>2</sup>	1.171.760 m <sup>2</sup>
	Passenger Movement	60,13 MPA	73 MPA
3	Cargo Terminal	48.838 m <sup>2</sup>	188.095 m <sup>2</sup>
	Cargo Movement	645.300 tons/year	1.132.141 tons/year

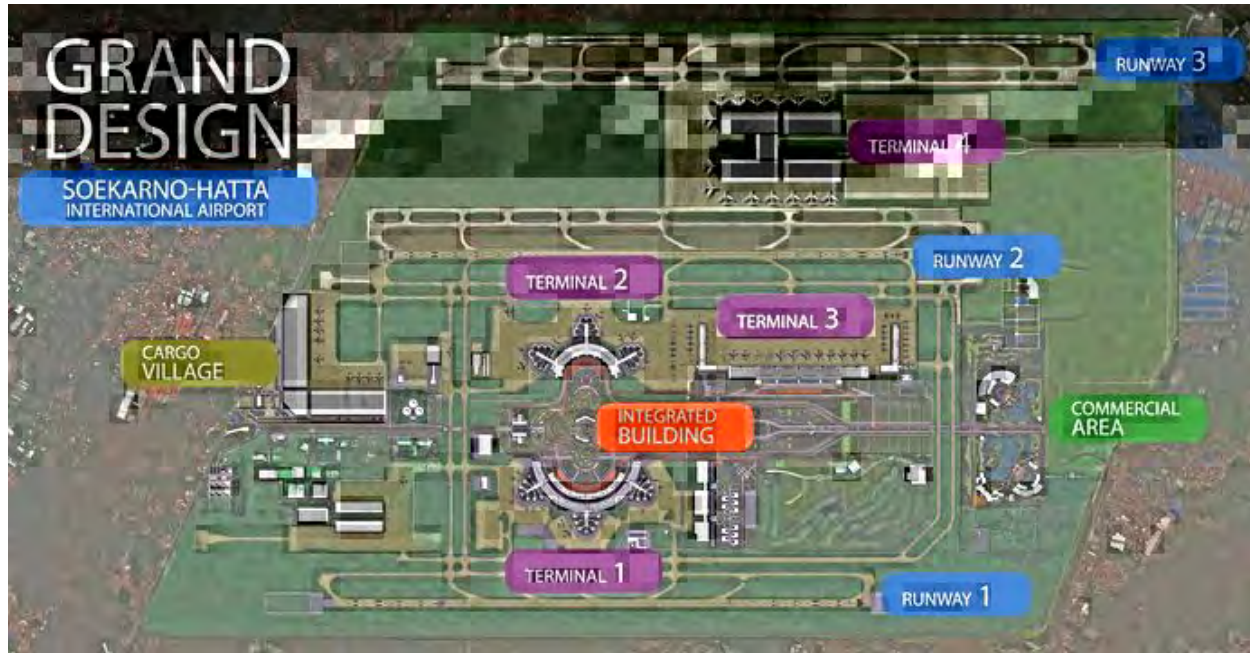
Sumber : Angkasa pura II

Untuk lebih jelas, pada gambar 1.2 dapat dilihat *runway* eksisting bandara CGK dan pada gambar 1.3 dapat dilihat runway 1, 2 dan 3. Ketiga paralel *runway* ini yang akan disimulasikan untuk mengetahui kapasitas ketiga *runway* tersebut.



Sumber: Google images

**Gambar 1.2** Runway eksisting bandara Soekarno-Hatta



Sumber : Angkasa pura II

**Gambar 1.3** Detail *layout* rencana bandara Soekarno-Hatta yang baru

## 1.2 Rumusan masalah

Dengan adanya rencana pembangunan *runway* ke-3 dan perkiraan jumlah pergerakan pesawat pada tahun 2020, maka perlu dilakukan evaluasi apakah *runway* 1,2, dan 3 dapat melayani jumlah tersebut. Untuk dapat melakukan evaluasi tersebut maka diperlukan detail rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana karakteristik pola operasional *runway* eksisting di bandara Soekarno-Hatta.
2. Bagaimana pergerakan pesawat eksisting berdasarkan jadwal pergerakan di bandara Soekarno-Hatta.
3. Apakah perkiraan pergerakan pesawat yang ditargetkan bisa dilayani dengan ketersediaan *runway* yang ada.

## 1.3 Tujuan Masalah

Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah mengevaluasi jumlah pergerakan pesawat yang dapat diakomodasikan oleh ketiga *runway* tersebut pada tahun 2020, dan dijabarkan dibawah ini :

1. Mengidentifikasi karakteristik pola operasional *runway* eksisting.
2. Mengetahui jumlah pergerakan pesawat eksisting berdasarkan jadwal penerbangan di bandara Soekarno-Hatta.
3. Mengetahui jumlah kapasitas pergerakan pesawat yang mampu di tampung oleh *runway* yang tersedia pada tahun 2020.

## 1.4 Batasan Masalah

Untuk membatasi dan menjaga lingkup pembahasan, batasan-batasan masalah yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Simulasi hanya dilakukan pada 3 paralel *runway* yang berdekatan (*runway* 1,2,dan 3). Hal ini sesuai dengan layout rencana seperti pada gambar 1.3.

2. Penentuan komposisi jenis pesawat yang beroperasi adalah pada satu jam puncak. Komposisi pesawat dan jam puncak diasumsikan mengikuti komposisi pada saat ini / saat pengambilan data.
3. Jadwal keberangkatan dan kedatangan pesawat diasumsikan tidak mengalami keterlambatan / *delay*.
4. Perhitungan kapasitas *runway* tidak memperhitungkan visibility air traffic control.
5. Air Traffic Control diasumsikan tidak ada kesalahan dalam mengawal pesawat untuk beroperasi tepat waktu.
6. Diasumsikan jumlah keberangkatan dan kedatangan pesawat berdasarkan pergerakan keberangkatan dan kedatangan pada masing-masing terminal yang beroperasi.
7. *Random number generate* pada Microsoft Excel yang dilakukan pada setiap simulasi perhitungan hanya satu kali. Tidak menghitung simulasi berulang-ulang dengan *random number*.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang diperoleh dari penulisan Tugas Akhir ini antara lain:

1. Dapat memberikan gambaran dalam menghitung kapasitas pada tiga *runway* paralel.
2. Dapat dijadikan sebagai acuan untuk pengembangan bandara yang ada kedepannya.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1      Gambaran Umum Bandara**

Bandara atau bandar udara merupakan sebuah fasilitas tempat pesawat terbang dapat lepas landas dan mendarat. Bandara-bandara besar biasanya dilengkapi berbagai fasilitas baik untuk operator layanan penerbangan maupun bagi penggunanya. Kapasitas bandara merupakan tingkat kemampuan suatu bandara untuk menampung kegiatan operasional bandara baik pada sisi udara maupun pada sisi darat.

Bandara berdasarkan fasilitasnya dapat dibagi menjadi 2 bagian, yaitu:

1. Sisi udara (*air side*), antara lain:
  - *Runway*
  - *Apron* dan *Gate*
  - *Taxiway*
2. Sisi darat (*land side*), antara lain:
  - Area parkir terminal & lalu lintas darat
  - Sistem jalan masuk ke terminal
  - Gedung terminal

#### **2.2      Kapasitas *Runway***

Bandar udara yang paling sederhana minimal memiliki sebuah landas pacu (*runway*). Pada sisi udara, kapasitas bandara dipengaruhi oleh kapasitas dari *runway* yang digunakan. Kapasitas *runway* adalah maksimum pergerakan secara berkelanjutan, baik kedatangan maupun keberangkatan, yang dapat diselenggarakan pada periode waktu tertentu pada konfigurasi *runway* yang ditentukan, pada kondisi cuaca tertentu dan tundaan yang bisa diterima. (sumber : Ashford, 2011).

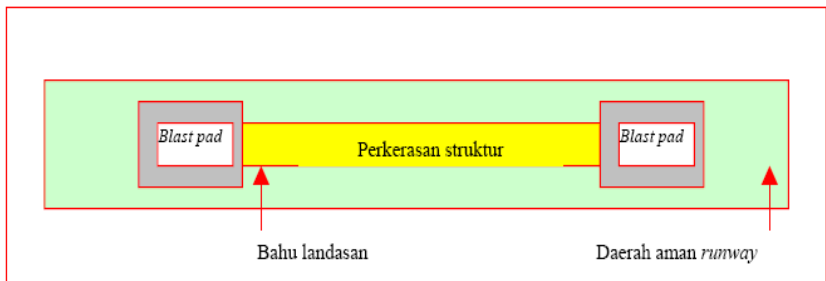
Kapasitas *runway* dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain :

- Jumlah dan geometri dari *runway*

- Kondisi meteorological, yaitu jarak pandang, batas ketinggian, dan curah hujan.
- Arah dan kekuatan angin
- Kombinasi pesawat yang digunakan di lapangan terbang
- *Runway Occupancy Time*
- Tipe dan lokasi taxiway
- *Air Traffic Control*

### 2.3 Konfigurasi *Runway*

*Runway* atau landasan pacu adalah jalur perkerasan yang dipergunakan oleh pesawat untuk mendarat dan lepas landas. Menurut Horonjeff (1994) sistem *runway* di suatu bandara terdiri dari perkerasan struktur, bahu landasan (*shoulder*), bantal hembusan (*blast pad*), dan daerah aman *runway* (*runway end safety area*). Dapat dilihat pada gambar 2.1



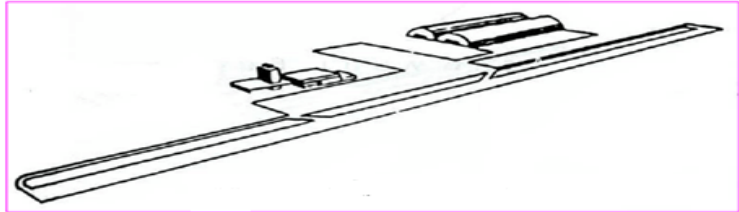
(Sumber: Horonjeff, 1994)

**Gambar 2.1** Unsur-unsur *runway*

Ada berbagai bentuk konfigurasi *runway*, antara lain :

- *Runway Tunggal (Single Runway)*  
Konfigurasi landas pacu ini merupakan jenis paling sederhana. Kondisi VFR (kondisi saat visual baik) berkisar diantara 50-100 operasi per jam, sedangkan kondisi IFR (kondisi saat visual tidak baik) kapasitasnya berkurang 50-70

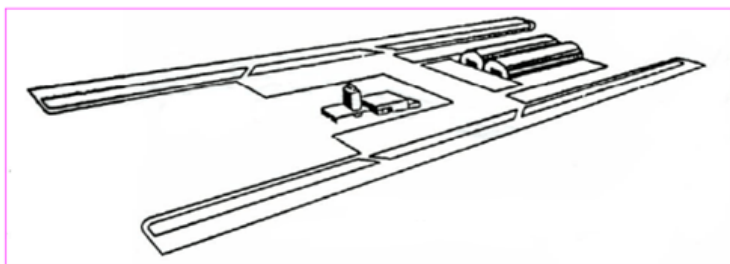
operasi, tergantung campuran pesawat terbang dan alat-alat bantu navigasi yang tersedia.



(Sumber: ICAO,1984)

**Gambar 2.2** Runway tunggal

- *Runway Sejajar ( Parallel Runway)*  
Konfigurasi landas pacu ini memungkinkan peningkatan kapasitas, semakin banyak jumlah landas pacu semakin besar kapasitas bandar udara yang bersangkutan. Kapasitasnya per jam dapat bervariasi di antara 100-200 operasi dalam kondisi-kondisi VFR, tergantung pada komposisi campuran pesawat terbang. Dalam kondisi IFR kapasitas per jam untuk yang berjarak rapat bekisar 50-60 operasi, tergantung pada komposisi campuran pesawat terbang.

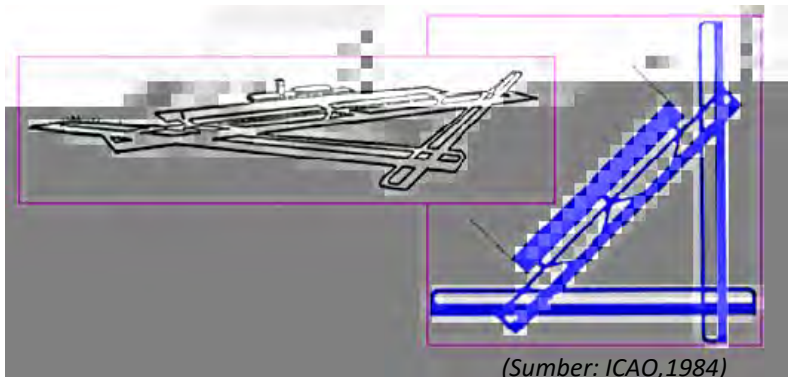


(Sumber: ICAO,1984)

**Gambar 2.3** Runway sejajar



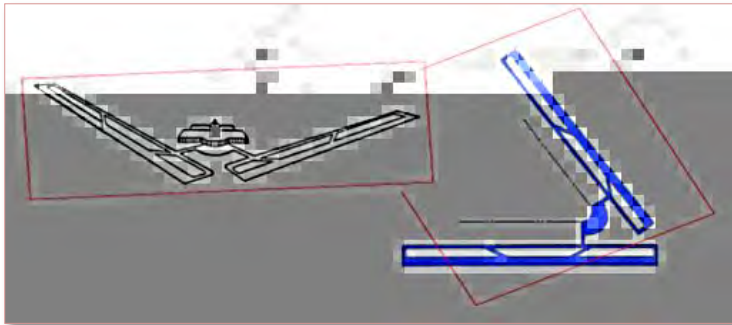
- *Runway Bersilangan (Intersecting Runway)*  
Konfigurasi landas pacu ini terdiri dari dua atau lebih landas pacu yang berbeda arah satu dari yang lainnya. Hal ini didasarkan atas kebutuhan untuk mengatasi arah angin yang bertiup lebih dari satu arah dan berdampak pada angin samping (*cross winds*) yang kuat jika menghandalkan satu landas pacu saja. Kapasitas tertinggi apabila titik silang terletak dekat dengan ujung lepas landas dan ambang pendaratan. Untuk kapasitas per jam 60-70 operasi dalam kondisi IFR dan 70-175 operasi dalam kondisi VFR yang tergantung pada kondisi campuran pesawat.



**Gambar 2.4** *Runway bersilangan*

- *Runway V terbuka (Open V-Runway)*  
Konfigurasi *runway* ini memberi manfaat hampir sama dengan jenis *runway* bersilangan (jika angin bertiup kuat dari satu arah) hanya saja jika tiupan angin tidak terlalu kuat, kedua landas pacu dapat digunakan bersama-sama. Untuk menghasilkan strategi kapasitas tertinggi adalah apabila operasi penerbangan dilakukan menjauhi V. Dalam kondisi IFR kapasitas per jam untuk strategi ini berkisar 50-80

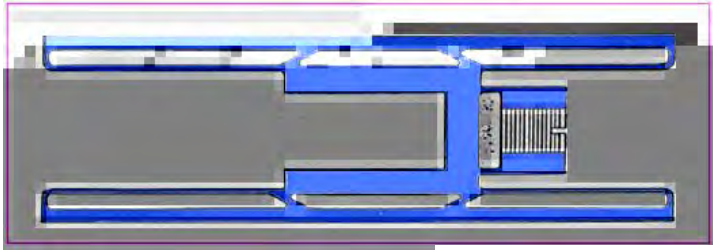
operasi tergantung pada campuran pesawat terbang. Dalam kondisi VFR antara 60-180 operasi. Apabila operasi penerbangan dilakukan menuju V, Kapasitasnya berkurang menjadi 50-60 dalam kondisi IFR dan antara 50-100 dalam VFR.



(Sumber: ICAO,1984)

**Gambar 2.5** Runway V terbuka

- *Runway Ganda (Dual Lane Runway)*  
 Konfigurasi landas pacu ini merupakan dua landas pacu parallel yang saling berdekatan dengan landas hubung keluar masing-masing. Meskipun kedua landas pacu dapat sama-sama digunakan untuk tinggal landas dan pendaratan, namun biasanya satu landas pacu untuk kedatangan yaitu yang terjauh dari bangunan terminal dan yang terdekat dengan bangunan terminal untuk pemberangkatan. Dapat menampung lalu lintas paling sedikit 70 persen lebih dari *runway* tunggal dalam kondisi VFR dan sekitar 60 persen lebih banyak dari *runway* tunggal dalam kondisi IFR.



(Sumber: ICAO,1984)

**Gambar 2.6** Runway ganda

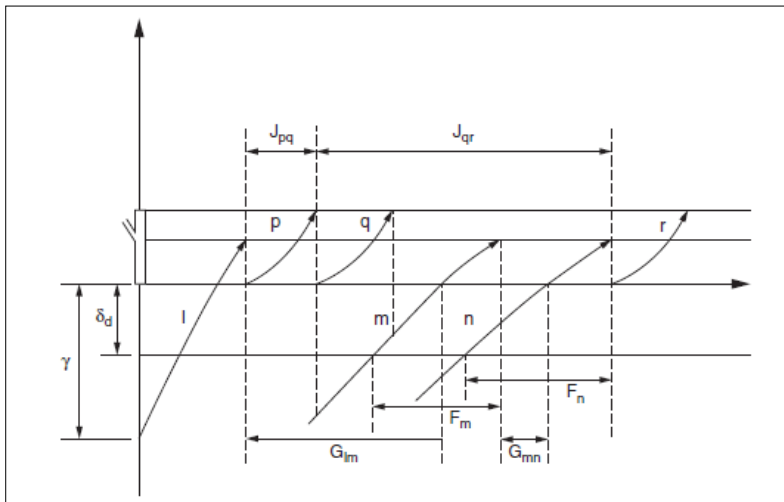
#### 2.4 Pola Operasional Runway Paralel

Konfigurasi dari *runway* memiliki dampak yang signifikan pada kapasitas per jam. Konfigurasi *runway* paralel menyediakan kapasitas yang lebih besar dibanding dengan konfigurasi *runway* berpotongan. Kapasitas *runway* paralel dipengaruhi oleh jumlah dari *runway* yang digunakan dan jarak antara *runway* tersebut. Kategori jarak antara *runway* yaitu, untuk jarak dekat mulai dari 700 ft hingga kurang dari 2500 ft. Jarak menengah dari 2500 ft hingga kurang dari 4300 ft sedangkan untuk jarak jauh harus minimal berjarak 4300 ft. Pemisahan jarak yang lebar akan memberikan peningkatan pula dalam kapasitas *runway* tersebut, sedangkan jika saling berdekatan kapasitas akan berkurang.

Ada dua pola operasional dari *runway* paralel yaitu *dependent* dan *independent*, *dependent* apabila kedatangan atau keberangkatan pesawat pada satu runway harus berkoordinasi dengan *runway* lainnya karena menghindari adanya angin *turbulen* dari pesawat yang dapat menyebabkan gangguan pada pesawat di dalam *runway* disebelahnya. *Independent* apabila pesawat akan mendarat atau berangkat pada satu runway, sedangkan pesawat lainnya dapat mendarat dan berangkat pada *runway* disebelahnya.

## 2.5 Time Space Analysis

Sebuah metode sederhana yang digunakan untuk menghitung kapasitas landasan pacu udara jika *headway* antara pesawat diketahui. Ide dasarnya adalah untuk memperkirakan waktu pelayanan rata-rata (*mean*), atau waktu antarkedatangan di ambang *runway* untuk campuran pesawat. Perumusannya adalah kapasitas berbanding terbalik dari waktu pelayanan rata-rata.



(Sumber: Horonjeff, 2010)

**Gambar 2.7** Konsep diagram waktu – jarak untuk operasi campuran dalam sebuah sistem runway.

Berdasarkan gambar 2.7, terdapat tiga kedatangan dan keberangkatan yang dilayani, aturan dasar urutan dalam pelayanan penerbangan tersebut antara lain :

1. Dua pesawat tidak dapat melakukan operasi di *runway* pada saat bersamaan.

2. Pesawat mendarat memiliki prioritas dalam penggunaan *runway* dari pada pesawat yang akan berangkat.
3. Keberangkatan dapat dilakukan jika tidak ada pergerakan di *runway* dan kedatangan berikutnya setidaknya berada pada jarak tertentu dari *runway*.

Pada gambar 2.7 menunjukkan bahwa interval keberangkatan rata-rata ( $j$ ) adalah rata-rata interval waktu antar keberangkatan berturut-turut  $J_{pq}$  dan  $J_{qr}$ . Lalu interval kedatangan rata-rata, jarak antar kedatangan ( $I_g$ ) pada saat yang memungkinkan untuk melakukan keberangkatan ( $g$ ) adalah rata-rata dari jumlah  $G_{in}$  dan  $G_{mn}$ . Terakhir, nilai interval waktu dimana keberangkatan tidak bisa dilepaskan ( $f$ ) adalah sama dengan rata-rata dari jumlah  $F_m$  dan  $F_n$ .

### 2.5.1 Pengembangan Model untuk Kedatangan (*Arrival Only*)

Kapasitas suatu *runway* yang hanya digunakan untuk melayani pesawat yang datang dipengaruhi oleh faktor-faktor berikut (*Horonjeff & McKelvey, 1994*):

1. Campuran pesawat terbang, yang biasanya diberi karakter oleh penggolongan pesawat ke dalam beberapa kelas menurut kecepatan mendekati *runway* (*approach speed*).
2. Kecepatan mendekati *runway* dari berbagai kelas pesawat
3. Panjang jalur pendekatan umum ke landasan dari jalur masuk (*entry*) atau gerbang ILS ke ambang *runway*
4. Aturan-aturan jarak pisah lalu lintas udara minimum atau jarak pisah yang diamati praktis apabila tidak ada peraturan.
5. Besarnya kesalahan dalam waktu kedatangan di gerbang dan kesalahan kecepatan pada jalur pendekatan umum ke *runway*.
6. Probabilitas tertentu dari pelanggaran terhadap jarak pisah lalu lintas udara minimum yang dapat diterima.

7. Waktu pemakaian *runway* rata-rata berbagai kelas pesawat dalam campuran dan besarnya pencaran (*dispersion*) dalam waktu rata-rata tersebut.

### 2.5.1.1 Keadaan Bebas Kesalahan ( *The Error-Free Case* )

Dalam keadaan ini pesawat bisa menjaga jarak minimum yang disyaratkan terhadap pesawat lain. Dengan ketepatan yang sedikit berkurang dan untuk membuat perhitungan menjadi lebih mudah, pesawat terbang dikelompokkan ke dalam beberapa kelas kecepatan yang berbeda  $V_i$ ,  $V_j$ , dan seterusnya. Untuk mendapatkan waktu pelayanan terboboti (*weighted service time*) untuk kedatangan, perlu untuk merumuskan matriks selang waktu di antara kedatangan pesawat di ambang *runway*. Dengan memperoleh matriks ini dan persentase berbagai kelas dalam campuran pesawat, waktu pelayanan terboboti dapat dihitung. Kebalikan waktu pelayanan terboboti adalah kapasitas *runway*. Misalkan matriks bebas kesalahan adalah  $[M_{ij}]$ , selang waktu minimum di ambang *runway* untuk pesawat terbang dengan kelas kecepatan  $i$  yang diikuti pesawat kelas  $j$ , dan misalkan persentase pesawat kelas  $i$  dalam campuran adalah  $p_i$ , dan pesawat kelas  $j$  adalah  $p_j$ , maka perhitungannya dapat dilihat pada Persamaan 2.1 s.d 2.3.

$$T_j - T_i = [T_{ij}] = [M_{ij}] \quad \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

- $T_j$  = waktu dimana pesawat  $j$  yang di belakang melewati ambang *runway*.  
 $T_i$  = waktu dimana pesawat  $i$  yang di depan melewati ambang *runway*.  
 $[T_{ij}]$  = matriks pemisahan waktu sebenarnya di ambang *runway* untuk dua kedatangan yang berurutan, pesawat dengan kelas kecepatan  $i$  diikuti oleh pesawat dengan kelas kecepatan  $j$ .

$$E[T_{ij}] = \sum p_{ij} M_{ij} = \sum p_{ij} T_{ij} \quad \dots\dots\dots(2.2)$$

$$C = \frac{1}{E [ T_{ij} ]} \quad \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana:

- $E[T_{ij}]$  = waktu pelayanan rata-rata (*mean*), atau waktu antar kedatangan di ambang *runway* untuk campuran pesawat
- $p_{ij}$  = probabilitas pesawat yang di depan i, akan diikuti oleh pesawat dibelakangnya j.
- C = kapasitas *runway* untuk mengolah campuran pesawat yang datang ini.

Untuk mendapatkan waktu antar kedatangan di ambang landasan pacu, perlu untuk mengetahui apakah kecepatan pesawat yang di depan ( $V_i$ ), lebih besar atau lebih kecil dari kecepatan pesawat di belakangnya ( $V_j$ ).

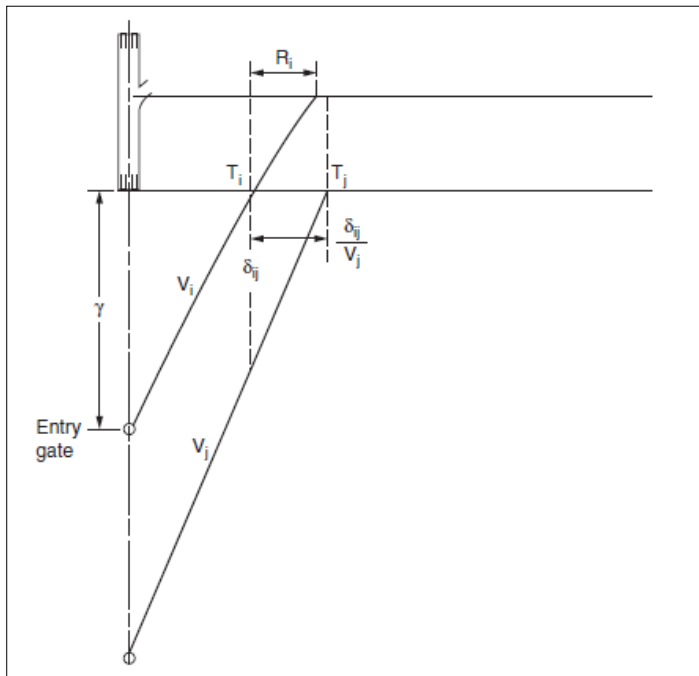
- **Untuk Keadaan Merapat ( $V_i \leq V_j$ )**

Keadaan dimana kecepatan mendekati landasan dari pesawat di depan lebih kecil dari yang berada di belakangnya. Pemisahan waktu minimum di ambang *runway* dapat dinyatakan dalam jarak  $\delta_{ij}$  dan kecepatan dari pesawat yang ada di belakang  $V_j$ . Meskipun demikian, apabila waktu pemakaian *runway* dari kedatangan  $R_i$  lebih besar dari pemisahan di udara, maka akan menjadi pemisahan minimum di ambang landasan. Persamaan untuk keadaan ini adalah

$$T_{ij} = T_j - T_i = \frac{\delta_{ij}}{V_i} \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

$\gamma$  = panjang jalur pendaekatan umum ke *runway*

- $\delta_{ij}$  = jarak pisah minimum yang diperbolehkan di antara dua pesawat yang datang, pesawat i di depan dan pesawat j di belakang, di sembarang tempat di sepanjang jalur pendekatan umum ini
- $V_i$  = kecepatan pada saat mendekati landasan dari pesawat di depan dari kelas i
- $V_j$  = kecepatan pada saat mendekati landasan dari pesawat di belakang dari kelas j
- $R_i$  = waktu pemakaian *runway* dari pesawat di depan kelas i.



(Sumber: Horonjeff, 2010)

**Gambar 2.8** Diagram waktu – jarak untuk antar kedatangan keadaan merapat



- **Untuk Keadaan Merenggang ( $V_i > V_j$ )**

Untuk keadaan dimana kecepatan saat mendekati landasan dari pesawat yang berada di depan lebih besar daripada kecepatan pesawat di belakangnya, pemisahan waktu minimum di ambang landasan dapat dinyatakan dalam jarak  $\delta_{ij}$ , panjang jalur pendekatan umum ke landasan  $\gamma$ , dan kecepatan saat mendekati landasan  $V_i$  dan  $V_j$  dari pesawat di depan dan di belakang. Hal ini bersesuaian dengan pemisahan jarak minimum  $\delta_{ij}$  di sepanjang jalur pendekatan umum ke landasan, yang sekarang terjadi di jalur masuk dan bukannya di ambang landasan. Persamaan untuk keadaan ini diperlihatkan pada Persamaan 2.5. Apabila pengendalian hanya dilakukan dari jalur masuk hingga ke ambang landasan, maka

$$T_{ij} = T_j - T_i = \frac{\delta_{ij}}{V_i} + \gamma \left( \frac{1}{V_j} - \frac{1}{V_i} \right) \dots\dots\dots(2.5)$$

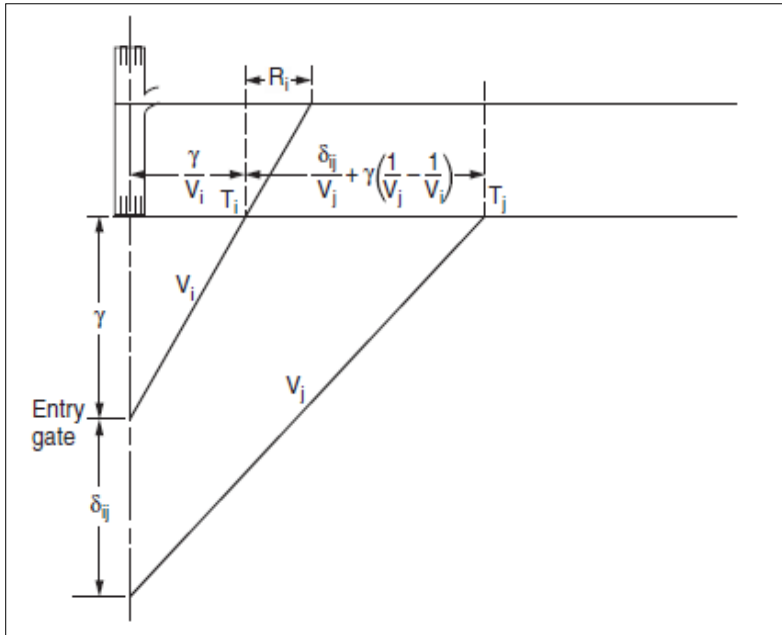
Apabila pengendalian dilakukan untuk mempertahankan pemisahan di antara kedua pesawat ketika pesawat yang berada di depan melewati jalur masuk, maka perhitungannya menjadi Persamaan 2.6.

$$T_{ij} = T_j - T_i = \frac{\delta_{ij}}{V_j} + \gamma \left( \frac{1}{V_j} - \frac{1}{V_i} \right) \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana :

- $\gamma$  = panjang jalur pendekatan umum ke *runway*
- $\delta_{ij}$  = jarak pisah minimum yang diperbolehkan di antara dua pesawat yang datang, pesawat i di depan dan pesawat j di belakang, di sembarang tempat di sepanjang jalur pendekatan umum ini
- $V_i$  = kecepatan pada saat mendekati landasan dari pesawat di depan dari kelas i

- $V_j$  = kecepatan pada saat mendekati landasan dari pesawat di belakang dari kelas j
- $R_i$  = waktu pemakaian *runway* dari pesawat di depan kelas i.



(Sumber: Horonjeff, 2010)

**Gambar 2.9** Diagram waktu – jarak untuk antar kedatangan keadaan merenggang

### 2.5.1.2 Perhitungan Mengenai Kesalahan Posisi

Model yang dijelaskan sebelumnya menggambarkan situasi suatu keadaan sempurna tanpa kesalahan. Untuk memperhitungkan kesalahan, ditambahkan waktu sanga terhadap waktu pisah minimum. Lamanya waktu sanga itu

tergantung pada probabilitas penyimpangan yang dapat diterima. Meskipun demikian, apabila posisi pesawat merupakan suatu peubah (variable) sembarang, terdapat probabilitas yang sama bahwa ia dapat lebih cepat atau lebih lambat dari jadwal. Apabila pesawat itu lebih cepat dari jadwal, patokan pemisahan minimum akan dilanggar.

Apabila kesalahan posisi itu didistribusikan secara normal, maka daerah kurva bentuk lonceng yang diarsir akan menyatakan probabilitas pelanggaran aturan pemisahan minimum sebesar 50 persen. Oleh karena itu, untuk memperkecil probabilitas pelanggaran ini, pesawat harus diatur untuk sampai di posisi ini dengan membuat waktu sangga terhadap patokan pemisahan minimum. Dalam keadaan ini, hanya apabila pesawat jauh lebih cepat dari jadwal sehingga melewati daerah kurva yang lebih kecil, pelanggaran terhadap pemisahan akan terjadi. Tentu saja probabilitas terjadinya hal ini akan semakin kecil. Dalam kenyataannya, para pengendali lalu lintas udara menjadwalkan pesawat dengan memakai waktu sangga sehingga probabilitas pelanggaran terhadap aturan pemisahan minimum berada pada tingkat yang dapat diterima.

Seperti yang akan diperlihatkan dalam keadaan merapat, penyangga merupakan nilai yang tetap. Meskipun demikian, dalam keadaan merenggang, penyangga tidak harus merupakan nilai yang tetap dan pada umumnya lebih kecil dari penyangga pada keadaan merapat. Dengan mempunyai model-model untuk penyangga, dibuat matriks waktu sangga  $[B_{ij}]$  untuk pesawat dengan kecepatan  $i$  yang diikuti oleh pesawat dengan kelas kecepatan  $j$ . Matriks ini ditambahkan pada matriks bebas-kesalahan untuk menentukan matriks waktu antar kedatangan sebenarnya, yang dari matriks ini kapasitas dapat ditentukan. Hubungan ini diberikan oleh Persamaan 2.7.

$$E[T_{ij}] = \sum p_{ij}[M_{ij} + B_{ij}] \quad \dots\dots\dots(2.7)$$

- **Untuk Keadaan Merapat ( $V_i \leq V_j$ )**

Dalam hal ini, kecepatan mendekati landasan dari pesawat yang berada di depan lebih kecil daripada di belakang dan pemisahan. Misalkan  $[T_{ij}]$  merupakan selang waktu minimum sebenarnya di antara pesawat kelas  $i$  dan  $j$  dan dianggap bahwa pemakaian *runway* adalah lebih kecil dari  $[T_{ij}]$ . Nilai rata-rata  $[T_{ij}]$  sebagai  $E[T_{ij}]$  dan  $e_0$  sebagai suatu kesalahan random yang didistribusikan secara normal rata-rata nol dengan simpangan baku  $\sigma_0$ . Maka untuk setiap pasang kedatangan

$$T_{ij} = E[T_{ij}] + e_0 \dots\dots\dots(2.8)$$

Tetapi untuk tidak melanggar patokan aturan pemisahan minimum, nilai  $E[T_{ij}]$  harus ditambah dengan penyangga sebesar  $B_{ij}$ . Oleh karena itu, didapat

$$E[T_{ij}] = M_{ij} + B_{ij} \dots\dots\dots(2.9)$$

dan juga

$$T_{ij} = M_{ij} + B_{ij} + e_0 \dots\dots\dots(2.10)$$

Untuk keadaan ini pemisahan minimum di ambang *runway* diberikan oleh Persamaan 2.13. Tujuannya adalah untuk mendapatkan probabilitas pelanggaran  $P_v$  tertentu, yaitu besarnya penyangga yang dibutuhkan.

$$P_v = P \left( T_{ij} < \frac{\delta_{ij}}{V_j} \right) \dots\dots\dots(2.11)$$

atau

$$P_v = P \left( \frac{\delta_{ij}}{V_j} + B_{ij} + e_0 < \frac{\delta_{ij}}{V_j} \right) \dots\dots\dots(2.12)$$

yang disederhanakan menjadi

$$p_v = P(B_{ij} < -e_0) \dots\dots\dots(2.13)$$

dengan menganggap bahwa kesalahan itu didistribusikan secara normal dengan simpangan baku  $\sigma_0$ , nilai penyangga dapat dicari dari Persamaan 2.14.

$$B_{ij} = \sigma_0 q_v \dots\dots\dots (2.14)$$

Dimana:

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

Dengan kata lain, hal ini berarti besarnya simpangan baku dari rata-rata dalam suatu persentase tertentu di bawah kurva normal akan didapat. Sebagai contoh, apabila  $p_v = 0,05$ , maka  $q_v$  adalah persentase ke-95 dari distribusi dan besarnya = 1,65. Dalam keadaan merapat, waktu sangga adalah suatu konstanta yang bergantung pada besarnya pancaran kesalahan dan probabilitas pelanggaran  $p_v$  yang dapat diterima.

- **Untuk Keadaan Merenggang ( $V_i > V_j$ )**

Berikutnya merupakan keadaan dimana kecepatan pada saat mendekati ambang landasan dari pesawat yang berada di depan lebih besar daripada yang dibelakangnya. Dalam hal ini pemisahan di antara pesawat bertambah dari jalur masuk. Model didasarkan pada anggapan bahwa pesawat yang berada di belakang harus dijadwalkan pada jarak yang tidak kurang dari  $\delta_{ij}$  mil di belakang pesawat yang berada di depan ketika yang terakhir ini berada pada jalur masuk, tetapi dianggap bahwa pemisahan yang ketat hanya dilakukan oleh pengendali lalu lintas udara ketika pesawat yang berada di belakang mencapai jalur masuk.

Untuk keadaan ini probabilitas pelanggaran hanyalah probabilitas bahwa pesawat yang berada di belakang mencapai pintu masuk. Anggapan ini juga diperlihatkan. Untuk keadaan ini probabilitas pelanggaran hanyalah probabilitas bahwa pesawat yang berada di belakang akan sampai di jalur masuk sebelum pesawat yang di depan berada pada suatu jarak tertentu di sebelah dalam jalur masuk. Secara matematis hal ini dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$p_v = P \left( T_i - \left( \frac{\delta_{ij} + \gamma}{v_1} \right) < T_i - \frac{\gamma}{v_1} \right) \dots\dots\dots(2.15)$$

atau

$$p_v = P \left[ T_j - T_i < \frac{\delta_{ij}}{v_1} + \left( \frac{\gamma}{v_1} - \frac{\gamma}{v_1} \right) \right] \dots\dots\dots(2.16)$$

Dengan menggunakan Persamaan 2.5 dan 2.14 untuk menghitung jarak sebenarnya di ambang landasan dan disederhanakan menjadi

$$B_{ij} = \sigma_0 q_v - \delta_{ij} \left( \frac{\gamma}{v_1} - \frac{\gamma}{v_1} \right) \dots\dots\dots(2.17)$$

Oleh karena itu, untuk keadaan merenggang besarnya penyangga dikurangi dari yang dibutuhkan dalam keadaan rapat, seperti terlihat pada Persamaan 2.17. Nilai penyangga yang negatif tidak diperbolehkan dan oleh sebab itu, penyangga merupakan suatu nilai positif dengan minimum sama dengan nol.

### 2.5.2 Pengembangan Model Untuk Keberangkatan (Departures Only)

Ketika keberangkatan dinyatakan bebas untuk lepas landas berdasarkan interval waktu minimum, atau waktu antar

keberangkatan  $t_d$ , kapasitas keberangkatan landasan pacu  $C_d$  diberikan oleh Persamaan 2.3 dan 2.4.

$$C_d = \frac{3600}{E(t_d)} \dots\dots\dots (2.18)$$

dan

$$E(t_d) = \sum [p_{ij}] [t_d] \dots\dots\dots (2.19)$$

Dimana:

$E(t_d)$  = waktu pelayanan rata-rata (mean), atau waktu antar keberangkatan di ambang *runway* untuk campuran pesawat.

$[p_{ij}]$  = probabilitas pesawat yang di depan  $i$ , akan diikuti oleh pesawat dibelakangnya  $j$ .

$[t_d]$  = matriks waktu antar keberangkatan.

### 2.5.3 Pengembangan Model Untuk Operasi Campuran (*Mixed Operation*)

Model ini didasarkan pada empat aturan pengoperasian yang sama seperti halnya model-model yang dikembangkan oleh AIL (*Airborne Instruments Laboratory*). Aturan-aturan itu adalah sebagai berikut:

1. Kedatangan mempunyai prioritas daripada keberangkatan.
2. Hanya satu pesawat dapat berada di *runway* pada sembarang waktu.
3. Keberangkatan tidak dapat dilaksanakan apabila pesawat yang datang berikutnya berada pada jarak yang kurang dari suatu jarak tertentu dari ambang *runway*, biasanya 2 nmi dalam kondisi IFR.
4. Keberangkatan yang berurutan diatur sehingga pemisahan waktu minimumnya sama dengan waktu pelayanan keberangkatan.

$T_i$  dan  $T_j$  merupakan waktu dimana pesawat yang ada di depan (i) dan yang ada di belakang (j), melewati ambang kedatangan,  $\delta_{ij}$  adalah pemisahan minimum di antara kedatangan,  $T_1$  adalah waktu dimana pesawat yang datang meninggalkan *runway*,  $T_d$  adalah waktu dimana pesawat yang berangkat mulai lepas landas,  $\delta_d$  adalah jarak minimum pada jarak mana pesawat yang datang harus berada (dari ambang landasan) supaya keberangkatan dapat dilakukan,  $T_2$  adalah waktu yang menyatakan saat terakhir dimana keberangkatan dapat dilakukan,  $R_i$  adalah waktu pemakaian *runway* untuk suatu kedatangan,  $G$  adalah perbedaan waktu dimana keberangkatan dapat dilakukan, dan  $t_d$  adalah waktu pelayanan yang dibutuhkan untuk keberangkatan.

Karena kedatangan diberikan prioritas, pesawat yang datang diurutkan dengan pemisahan minimum dan keberangkatan tidak dapat dilakukan kecuali terdapat perbedaan waktu  $G$  di antara kedatangan yang berurutan. Oleh karena itu dapat ditulis.

$$G = T_2 - T_1 > 0 \quad \dots\dots\dots(2.20)$$

Tetapi kita tahu bahwa

$$T_1 = T_i + R_i \quad \dots\dots\dots(2.21)$$

dan

$$T_2 = T_j - \frac{\delta_{ij}}{v_1} \quad \dots\dots\dots(2.22)$$

maka dapat ditulis:

$$T_2 - T_1 > \left( T_j - \frac{\delta_{ij}}{v_1} \right) - ( T_i + R_i ) > 0 \quad \dots\dots\dots(2.23)$$



Atau untuk melakukan satu keberangkatan di antara dua kedatangan yang berurutan, didapat :

$$T_j - i > R_i + \frac{\delta d}{V_j} \quad \dots\dots\dots(2.24)$$

Dengan pengembangan sederhana persamaan ini, jelas bahwa waktu antar kedatangan rata-rata yang dibutuhkan  $E[T_{ij}]$  untuk melakukan  $n$  keberangkatan di antara dua kedatangan diberikan oleh Persamaan 2.25.

$$E [ T_{ij} ] > E [ R_i ] + E [ \frac{\delta d}{V_j} ] + ( n - 1 ) E [ T_d ] \quad \dots\dots\dots(2.25)$$

Dimana :

- $E[T_{ij}]$  = waktu dimana pesawat yang ada di depan (i) dan yang ada di belakang (j), melewati ambang kedatangan
- $E[R_i]$  = waktu pemakaian *runway* untuk suatu kedatangan
- $\delta d$  = pemisahan minimum di antara kedatangan
- $V_j$  = kecepatan pada saat mendekati landasan dari pesawat di belakang dari kelas j
- $E[t_d]$  = waktu pelayanan yang dibutuhkan untuk keberangkatan

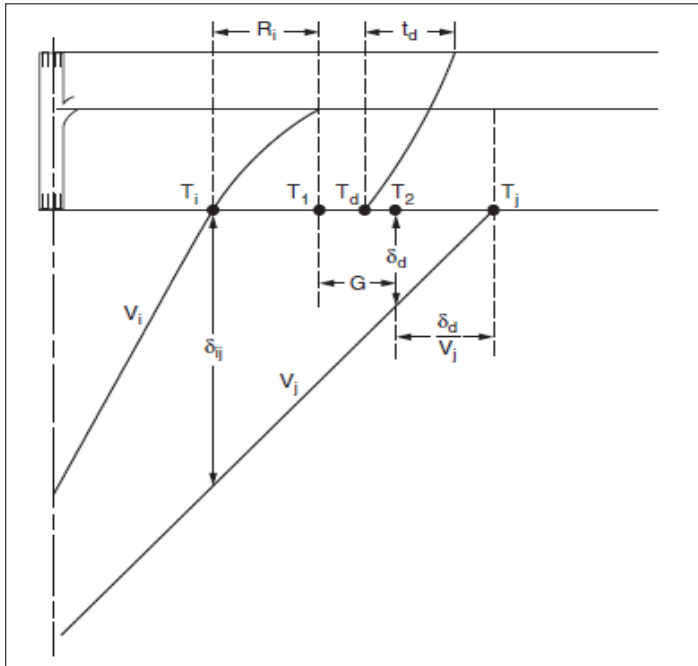
Harus diingat bahwa suku terakhir dalam Persamaan 2.25 adalah nol apabila hanya satu keberangkatan yang akan disisipkan di antara dua kedatangan. Suatu faktor kesalahan  $\sigma G_{qv}$  dapat ditambahkan pada persamaan di atas untuk memperhitungkan pelanggaran terhadap perbedaan jarak.

Kapasitas *runway* pada operasi campuran diberikan pada Persamaan 2.26 berikut:

$$C_m = \frac{1}{E(\Delta T_{ij})} (1 + \sum n_d p_{nd}) \dots\dots\dots(2.26)$$

Dimana :

- $C_m$  = Kapasitas *runway* untuk operasi campuran
- $E(\Delta T_{ij})$  = Nilai waktu antar kedatangan
- $n_d$  = Jumlah keberangkatan yang dapat dilakukan di antara dua kedatangan
- $p_{nd}$  = Probabilitas jumlah keberangkatan  $n_d$  dapat dilakukan



(Sumber: Horonjeff, 2010)

**Gambar 2.10** Diagram waktu – jarak untuk operasi campuran

## 2.6 Kategori Pesawat

Menurut FAA ada 5 macam penggolongan pesawat terbang untuk membedakan pesawat didalam area terminal:

- Small
- Large
- B757
- Heavy
- Superheavy

Sedangkankan menurut ICAO digolongkan menjadi 4 macam, yaitu:

- Light
- Medium
- Heavy
- Superheavy

## 2.7 Peraturan Pemisah Pesawat

Terdapat dua macam peraturan pemisahan pesawat yang ada dalam dunia penerbangan, keduanya dibedakan menurut kondisi cuaca yang dihadapi oleh pilot dalam menerbangkan suatu pesawat terbang. Yang pertama adalah *Visual Flight Rules* (VFR) yaitu cara menerbangkan pesawat terbang dengan hanya melihat kompas dan daratan dengan mengikuti tanda-tanda alam seperti sungai, gunung, pantai atau juga mengikuti jalan raya sebagai acuan. Tapi cara VFR mempunyai keterbatasan, salah satunya yaitu, keadaan cuaca dan jarak pandang yang harus bagus. Kecepatan pesawat yang relatif tinggi membutuhkan jarak pandang yang cukup jauh. Keadaan cuaca seperti hujan dan kabut bisa mengakibatkan jarak pandang yang berkurang. Kondisi cuaca untuk menerbangkan pesawat dengan cara/aturan VFR disebut VMC (*Visual Meteorological Condition*).

Yang kedua adalah *Instrument Flight Rules* (IFR) yaitu cara menerbangkan pesawat dengan mengikuti panduan instrument di dalam pesawat (tanpa melihat keluar).

Perkembangan teknologi dalam penerbangan yang mampu membuat pesawat terbang semakin cepat, semakin tinggi dengan sistem navigasi yang canggih membuat penerbang terbatas melakukan penerbangan jika hanya menggunakan VFR, untuk itu IFR bisa sangat membantu. Aturan cara terbang IFR disediakan oleh pemandu lalu lintas udara yang ada dibandara. Kondisi cuaca untuk menerbangkan pesawat dengan cara/aturan IFR diebut IMC (*Instrument Meteorological Condition*).

Jarak antar dua pesawat yang akan beroperasi pada *runway* diatur sesuai dengan keadaan IFR dalam kondisi cuaca IMC atau VFR dalam kondisi cuaca VMC. Satuan jarak yang digunakan adalah nm (*nautical mile*) dan detik. *Nautical mile* atau mil laut adalah satuan panjang yang digunakan untuk mengukur jarak penerbangan. Peraturan-peraturan ini dapat dilihat dalam tabel 2.1 sampai tabel 2.4.

**Tabel 2.1** Minimum Arrival-arrival separation pada kondisi IMC

Minimum Separation Matrix (nm)		Arrivals-Arrivals	
lead	Trailing		
	Small	Large	Heavy
Small	3	3	3
Large	5	3	3
Heavy	6	5	3

**Tabel 2.2** Minimum Departure-departure separation pada kondisi IMC

Departure-Departure Separation Matrix (seconds)			
Lead	Trailing		
	Small	Large	heavy
Small	60	60	60
Large	60	60	90
Heavy	120	120	120

**Tabel 2.3** Minimum Arrival-arrival separation pada kondisi VMC

Minimum Separation Matrix (nm)		Arrivals-Arrivals	
Lead	Trailing		
	Small	Large	heavy
Small	2,4	2,4	2,4
Large	5	2,4	2,4
Heavy	6	4	2,7

**Tabel 2.4** Minimum Departure-departure separation pada kondisi VMC

Departure-Departure Separation Matrix (seconds)			
Lead	Trailing		
	Small	Large	heavy
Small	50	50	50
Large	50	50	75
Heavy	90	90	90

## 2.8 Metode Perhitungan Jam Puncak (*Peak hour*)

Perhitungan peak hour dalam penulisan Tugas Akhir ini diperlukan untuk :

1. Sebagai dasar acuan yang digunakan untuk menentukan kondisi paling maksimum pemakaian *runway*.
2. Untuk mengetahui tingkat pergerakan pesawat maksimum saat kondisi *peak hour*.

Berdasarkan data *existing* jumlah rata-rata pergerakan harian di *runway* pada bulan puncak dalam 1 tahun, di dapat *ratio* jumlah pergerakan pesawat total 1 tahun. Dirumuskan sebagai berikut (Pignataro,1973) :

$$R_{month} = \frac{N_{month}}{N_{year}} \dots\dots\dots(2.27)$$

Dimana :

- $R_{month}$  = *Peak month ratio*  
 $N_{month}$  = Jumlah Pergerakan total pesawat di *runway* dalam 1 tahun  
 $N_{year}$  = Jumlah pergerakan total pesawat di *runway* dalam 1 tahun

*Ratio* jumlah pergerakan pesawat pada hari puncak terhadap jumlah pergerakan pesawat bulan puncak adalah :

$$R_{day} = \frac{N_{day}}{N_{month}} \dots\dots\dots(2.28)$$

Dimana :

- $R_{day}$  = *Peak day ratio*  
 $N_{day}$  = Jumlah Pergerakan total pesawat di *runway* dalam 1 hari  
 $N_{month}$  = Jumlah pergerakan total pesawat di *runway* saat bulan puncak

*Ratio* jumlah pergerakan pesawat pada jam puncak terhadap jumlah pergerakan pesawat total 1 hari adalah :

$$R_{hour} = \frac{N_{hour}}{N_{day}} \dots\dots\dots(2.29)$$

Dimana :

- $R_{hour}$  = *Peak hour ratio*  
 $N_{hour}$  = Jumlah Pergerakan total pesawat di *runway* saat peak hour  
 $N_{day}$  = Jumlah pergerakan total pesawat di *runway* dalam 1 hari

Untuk memperkirakan jumlah pergerakan pesawat tahun rencana untuk kondisi *peak hour* adalah dengan langsung mengalihkan R dengan peramalan jumlah pergerakan harian rata-rata pada bulan puncak tahun rencana.

## 2.9 Teori Simulasi

Simulasi merupakan suatu model pengambilan keputusan dengan mencontoh atau mempergunakan gambaran sebenarnya dari suatu sistem kehidupan dunia nyata tanpa harus mengalaminya pada keadaan yang sesungguhnya. Dengan mencontoh dan menduplikasikan keadaan yang sebenarnya ini memungkinkan pengambilan keputusan untuk melakukan suatu eksperimen terhadap sistem dan prediksi tingkah laku dan hasilnya berdasar input berbagai parameter dan aturan. Di samping itu, pengambilan keputusan yang optimal untuk jangka waktu yang panjang. Simulasi digunakan apabila suatu kasus atau masalah nyata model matematikannya tidak dapat dibentuk atau metode atau rumus yang tersedia tidak dapat dipakai.

Menurut Iqbal Hasan (2002) simulasi dibedakan menjadi dua, yaitu :

1. Simulasi Analog

Simulasi analog artinya menggantikan fisik yang asli dengan lingkungan fisik yang asli dengan lingkungan fisik tiruan mempergunakan representasi fisik untuk menjelaskan karakteristik yang penting dari masalah.

2. Simulasi Matematik

Simulasi matematik artinya meniru dengan model matematik untuk mendapatkan ciri operasi sistem melalui suatu eksperimen. Jika eksperimen ini berulang-ulang, maka untuk mempermudah dan mempercepat penyelesaian hitungannya digunakan bantuan komputer.

### **2.10 Studi Terdahulu**

Dalam Tugas Akhir Satrio (2014) dengan judul “Simulasi Penentuan Jumlah dan Komposisi Pesawat Maksimum Pada Dua *Parallel Runway*”, dilakukan simulasi untuk mendapatkan jumlah maksimum pergerakan pesawat yang dapat ditampung pada dua runway paralel yang berjarak 4300 ft. Simulasi tersebut dilakukan untuk menemukan kapasitas runway pada bandara internasional Juanda jika bandara tersebut menggunakan *runway* dua paralel. Simulasi yang dilakukan menggunakan microsoft excel.

Sedangkan pada Tugas Akhir ini dilakukan simulasi pada tiga *runway* paralel di bandara internasional Soekarno - Hatta menggunakan metode *time space analysis* dengan program Microsoft Excel, untuk mengetahui kapasitas landasan pacu saat tiga *runway* tersebut beroperasi di bandara Soekarno - Hatta pada tahun 2020.

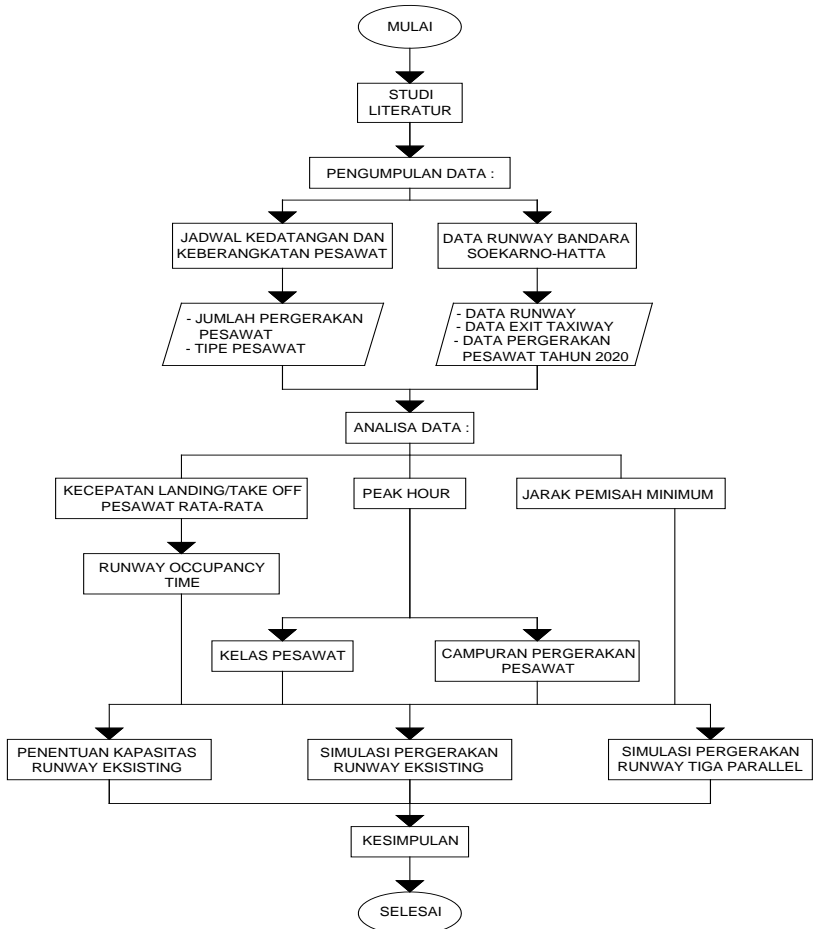


*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

# BAB III METODOLOGI

## 3.1 Umum

Metodologi penulisan Tugas Akhir bisa dilihat pada gambar 3.1



Gambar 3.1 Diagram alir metodologi

### 3.2 Studi Literatur

Studi literatur sangat diperlukan dalam pengerjaan Tugas akhir. Studi literatur dilakukan dengan cara mencari permasalahan yang ingin dibahas dan materi yang berkaitan dengan tugas akhir. Materi tersebut bisa teori atau peraturan-peraturan yang didapat di buku, jurnal, diktat, internet dan sumber-sumber lainnya.

### 3.3 Pengumpulan Data

Data-data yang digunakan untuk pelaksanaan Tugas Akhir ini antara lain:

#### 3.3.1 Jadwal Kedatangan dan Keberangkatan Pesawat

Jadwal kedatangan dan keberangkatan pesawat di bandara Soekarno-Hatta diambil dari website [flightstat.com](http://flightstat.com). Pengambilan data dilakukan selama 7 hari yaitu pada 12 Juli 2015 – 18 Juli 2015.

- Jumlah Pergerakan Pesawat  
Dari jadwal kedatangan dan keberangkatan yang telah dikumpulkan selama seminggu, diambil jumlah pergerakan pesawat terbesar dari satu hari.
- Tipe Pesawat  
Data tipe pesawat merupakan pesawat-pesawat apa saja yang melakukan kedatangan dan keberangkatan di bandara Soekarno-Hatta sesuai dengan pergerakan pesawat di jadwal kedatangan dan keberangkatan yang diambil.

#### 3.3.2 Data *Runway* Bandara Soekarno – Hatta

Merupakan informasi berkaitan dengan runway yang sudah ada (*runway* eksisting) dan runway ketiga yang sedang dalam tahap pembangunan dan diperkirakan selesai pada tahun 2017.

- Data *Runway*  
Data runway merupakan informasi umum tentang *runway* di bandara Soekarno-Hatta.

- Data *Exit Taxiway*  
Data ini merupakan jumlah dan letak dari exit taxiway pada runway eksisting bandara Soekarno-Hatta dari kedua arah runway. data ini diambil dari program Google Earth.
- Data Pergerakan Pesawat Tahun 2020  
Runway ketiga diperkirakan siap untuk digunakan pada tahun 2017, sehingga perlu peramalan pergerakan pesawat tiga *runway* paralel yang telah beroperasi. Peramalan pertumbuhan lalu lintas udara ini diperlukan untuk mengevaluasi kinerja runway pada masa akan datang. Pada penulisan Tugas Akhir ini, tidak perlu lagi melakukan perhitungan peramalan pertumbuhan pergerakan pesawat karena sudah adanya data perkiraan pergerakan pesawat pada tahun 2020. Pergerakan pesawat pada tahun 2020 diperkirakan berjumlah 729.886/tahun. Untuk lebih lengkapnya dapat dilihat pada tabel 1.1 di bab 1.

### 3.4 Analisis Data

Data yang telah terkumpul kemudian akan dianalisa terlebih dahulu, untuk mendapatkan variabel-variabel yang dibutuhkan dalam melakukan perhitungan simulasi. untuk lebih lengkapnya sebagai berikut:

#### 3.4.1 Kecepatan *Landing / Take off* Pesawat Rata-rata

Kecepatan landing dan take off pesawat rata-rata merupakan nitai rata-rata dari kecepatan masing-masing tipe pesawat pada saat *peak hour* (jam Puncak) yang digunakan.

- Runway Occupancy Time (ROT)  
*Runway Occupancy Time* adalah lamanya waktu yang diperlukan pesawat mulai dari *landing* sampai meninggalkan *runway*. ROT untuk landing tergantung pada kecepatan pesawat saat *landing* dan letak *exit taxiway* yang digunakan.

#### 3.4.2 *Peak Hour*

*Peak hour* adalah jam puncak dimana terjadinya tingkat pergerakan pesawat maksimum. *Peak hour* diambil dari jumlah

pergerakan pesawat terbanyak perhari lalu diambil satu jam yang memiliki pergerakan terbesar.

- **Kelas Pesawat**  
Kelas pesawat merupakan kategori pesawat berdasarkan kecepatan menurut tabel FAA (*small, heavy* atau *large*).
- **Campuran Pergerakan Pesawat**  
Data pergerakan pesawat yang digunakan merupakan data yang mempengaruhi perhitungan kapasitas *runway*, yaitu persentase perbandingan antara kedatangan dan keberangkatan pada *peak hour* (jam puncak)

### **3.4.3 Jarak Pemisah Minimum**

Data ini bisa didapat pada tabel FAA. Berdasarkan dari komposisi jenis pesawat (*small, heavy* atau *large*) yang akan menjadi *trailing* (dibelakang) dan menjadi *leading* (didepan).

### **3.5 Penentuan Kapasitas Runway Eksisting**

Sebelum melakukan simulasi maka perlu dilakukan evaluasi kapasitas runway eksisting, untuk mengetahui jumlah pergerakan pada runway. perhitungan ini dilakukan menggunakan rumus matematis.

### **3.6 Simulasi Pergerakan Runway Eksisting**

Sebelum melakukan simulasi untuk tiga *runway* paralel, maka terlebih dahulu dilakukan simulasi runway eksisting pada saat *peak hour*.

### **3.7 Simulasi Pergerakan Runway Tiga Paralel**

Simulasi adalah suatu proses percobaan yang meniru suatu model sistem kegiatan. Simulasi pergerakan pesawat ini dilakukan dengan program bantu Microsoft Excel dengan cara merubah variabel-variabel yang berpengaruh dalam kapasitas runway. Variabel yang dimaksud adalah campuran pergerakan (kedatangan/keberangkatan) pesawat dan kelas pesawat. Simulasi yang didesain adalah simulasi untuk operasi campuran (*mixed*) yang kemudian disimulasikan pada tiga *runway* paralel.

Langkah simulasi menggunakan microsoft excel :

1. Mencari *peak hour* dari data jadwal pergerakan pesawat untuk kedatangan dan keberangkatan.
2. Menentukan pembagian distribusi kedatangan dan keberangkatan pesawat berdasarkan pergerakan di terminal pada saat *peak hour*.
3. Menentukan distribusi penggunaan pesawat pada *runway*, untuk keberangkatan atau kedatangan.
4. Menentukan random number untuk kategori pesawat dan random number untuk pembagian pergerakan pesawat.
5. Menentukan waktu interval antar keberangkatan atau kedatangan berdasarkan jarak pemisah minimum kategori pesawat.
6. Menentukan masing-masing proses kegiatan untuk keberangkatan dan kedatangan
7. Kemudian dilakukan simulasi selama satu jam.

### **3.8 Kesimpulan**

Kesimpulan yang ingin didapat dari Tugas akhir ini yaitu menemukan kapasitas *runway* yang ditargetkan oleh bandara Soekarno-Hatta pada tahun 2020 dengan penambahan satu *runway* baru menjadi tiga *runway* paralel.

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB IV ANALISIS DATA

### 4.1 Penentuan *Peak Hour*

Dalam perhitungan kapasitas runway eksisting diperlukan data *peak hour* bandara yang akan dihitung. *Peak hour* adalah jam tersibuk yang didapat pada bulan tersibuk dalam satu tahun. Data yang akan digunakan adalah data jadwal penerbangan bandara internasional Soekarno-Hatta. Karena keterbatasan data, maka data yang digunakan adalah data penerbangan selama seminggu pada tanggal 12 Juli 2015 – 18 Juli 2015. Data tersebut diambil pada website flightstat.com untuk penerbangan di bandara Soekarno-Hatta (CGK). Berikut jumlah pergerakan pesawat selama seminggu yang bisa dilihat pada tabel 4.1

**Tabel 4.1** Data pergerakan pesawat selama seminggu

No	Hari	Tanggal	Total Pergerakan
1	Minggu	12 Juli 2015	1256
2	Senin	13 Juli 2015	1230
3	Selasa	14 Juli 2015	1225
4	Rabu	15 Juli 2015	1267
5	Kamis	16 Juli 2015	1254
6	Jumat	17 Juli 2015	1241
7	Sabtu	18 Juli 2015	1233

Dari tabel di atas diketahui jumlah penerbangan terbesar ada pada hari Rabu tanggal 15 Juli 2015 dengan total pergerakan pesawat sejumlah 1267 pergerakan perhari, maka penentuan *peak*



*hour* dicari pada tanggal 15 juli 2015. Perhitungan *peak hour* ini dilakukan dengan cara menghitung jumlah penerbangan selama per-jam dengan interval setiap 5 menit, sehingga setiap penambahan 5 menit dihitung jumlah pergerakan perjam untuk mendapatkan *peak hour* terbesar. Pada tabel 4.2 dapat dilihat hasil dari rekapitulasi perhitungan *peak hour* terbesar pada hari Rabu tanggal 15 Juli 2015 di bandara internasional Soekarno-Hatta.

**Tabel 4.2** Perhitungan peak hour

15 Juli 2016		Jumlah		
No.	Waktu	Departure	Arrival	Total
1	00:45 - 01:44	7	2	9
2	01:45 - 02:44	6	1	7
3	02:45 - 03:44	0	1	1
4	03:45 - 04:44	5	3	8
5	04:45 - 05:54	40	0	40
6	05:45 - 06:44	46	2	48
7	06:45 - 07:44	27	30	57
8	07:45 - 08:44	38	32	70
9	08:45 - 09:44	39	34	73
10	09:45 - 10:44	29	41	70
11	10:45 - 11:44	46	35	81
12	11:45 - 12:44	26	31	57
13	12:45 - 13:44	43	51	94
14	13:45 - 14:44	33	39	72
15	14:45 - 15:44	36	47	83
16	15:45 - 16:44	39	41	80
17	16:45 - 17:44	37	40	77
18	17:45 - 18:44	39	34	73

**Tabel 4.2** (Lanjutan)

15 Juli 2016		Jumlah		
No.	Waktu	Departure	Arrival	Total
19	18:45 - 19:44	28	41	69
20	19:45 - 20:44	21	38	59
21	20:45 - 21:44	13	49	62
22	21:45 - 22:44	12	25	37
23	22:45 - 23:44	5	18	23
24	23:45 - 00:44	11	6	17
Total		626	641	1267

Berdasarkan tabel 4.2 didapatkan jam puncak (*peak hour*) terjadi pada pukul 12:45 PM – 1:44 PM dengan total 94 pergerakan pesawat.

#### **4.2 Perhitungan Kapasitas *Runway* Eksisting**

Untuk menghitung kapasitas suatu *runway* terdapat beberapa aturan pengoperasian yang harus dipenuhi *runway* dalam pengerjaannya. Aturan – aturan pengurutan dasar yang digunakan dalam pengurutan pesawat terbang adalah (Horonjeff & Mckelvey, 1994) :

1. Dua pesawat terbang tidak boleh dioperasikan di *runway* pada saat yang bersamaan.
2. Pesawat yang datang diberikan prioritas untuk menggunakan *runway* dari pada pesawat yang berangkat.
3. Operasi keberangkatan dapat dilakukan apabila *runway* telah bebas dan kedatangan berikutnya paling sedikit berada pada suatu jarak tertentu dari ambang *runway*.

Dalam perhitungan kapasitas, pesawat digolongkan berdasarkan kecepatan pendaratan. Untuk lebih jelasnya penggolongan pesawat berdasarkan peraturan *Federal Aviation Administration* ( FAA ) dapat dilihat pada tabel 4.3

**Tabel 4.3** Kategori pesawat berdasarkan kecepatan menurut FAA

Kategori	Kecepatan Mendarat
A	< 91 knots
B	91 knots - 120 knots
C	121 knots - 140 knots
D	141 knots - 165 knots
E	> 166 knots

Sumber : <http://www.condellpark.cm/bear/facateg>

Data *peak hour* yang digunakan untuk menghitung kapasitas runway adalah data *peak hour* yang terjadi pada hari Rabu, tanggal 15 Juli 2015 pada pukul 12:45 PM – 1:44 PM dengan total 94 pergerakan pesawat. Karakteristik jenis pesawat dapat dilihat pada tabel 4.4 dan jadwal penerbangan pada *peak hour* dapat dilihat pada tabel 4.5 dan tabel 4.6.

**Tabel 4.4** Karakteristik jenis pesawat pada penerbangan pukul 12:45 PM – 1:45 PM

Tipe Pesawat	Kecepatan Landing (knots)	Kecepatan Take off (Knot)	ROT (Menit)	
			Arrival	Departure
C	135	143	0,35	0,45
D	149	148	0,36	0,51

Pada tabel 4.4 tipe pesawat A,B dan E tidak dimasukkan dalam analisis karena ketiga tipe tersebut tidak beroperasi pada saat jam *peak hour* yaitu pada pukul 12:45 PM – 1:44 PM. Kecepatan *landing* dan kecepatan *take off* adalah kecepatan pesawat yang diambil dari data pesawat dan merupakan nilai rata-rata dari masing-masing kategori pesawat. Sementara presentase campuran kategori pesawat untuk pergerakan pesawat ditentukan dari jumlah kedatangan dan keberangkatan pada jam *peak hour* hari Rabu, tanggal 15 Juli 2015 pukul 12:45PM - 1:44 PM.

**Tabel 4.5** Jadwal penerbangan pada *peak hour* untuk keberangkatan/  
*departure*

No	DEPARTURE			Take Off Speed ( Knot )	Kategori Pesawat	Waktu
	Pesawat	No. Pesawat	Tipe Pesawat			
1	Air Asia	256	Airbus A320	145	C	12:45 PM
2	Lion Air	684	Boeing 737-800	145	D	12:50 PM
3	Lion Air	634	Boeing 737-900	149	D	12:50 PM
4	Lion Air	764	Boeing 737-900	149	D	12:50 PM
5	Lion Air	382	Boeing 737-900	149	D	12:50 PM
6	Sriwijaya Air	192	Boeing 737-500	139	C	12:50 PM
7	Batik Air	6406	Airbus A320	145	C	12:55 PM
8	Garuda Indonesia	868	Boeing 737-800	145	D	12:55 PM
9	Phillippine Airlines	540	Airbus A320	145	C	1:00 PM
10	Lion Air	512	Boeing 737-800	145	D	1:00 PM
11	Garuda Indonesia	504	Boeing 737-800	145	D	1:00 PM
12	Garuda Indonesia	616	Boeing 737-800	145	D	1:00 PM
13	Sriwijaya Air	266	Boeing 737-300	140	C	1:00 PM
14	Saudi Arabian Airlines	825	Boeing 737-300	140	C	1:05 PM

**Tabel 4.5 (Lanjutan)**

No	DEPARTURE			Take Off Speed ( Knot )	Kategori Pesawat	Waktu
	Pesawat	No. Pesawat	Tipe Pesawat			
15	Citilink	1846	Airbus A320	145	C	1:05 PM
16	Garuda Indonesia	210	Boeing 737-800	145	D	1:05 PM
17	Citilink	846	Airbus A320	145	C	1:10 PM
18	Batik Air	6854	Boeing 737-900	149	D	1:10 PM
19	Lion Air	352	Boeing 737-900	149	D	1:10 PM
20	Garuda Indonesia	422	Boeing 737-800	145	D	1:10 PM
21	Malindo Air	315	Boeing 737-900	149	D	1:10 PM
22	Citilink	9743	Airbus A320	145	C	1:10 PM
23	Batik Air	6178	Airbus A320	145	C	1:10 PM
24	Lion Air	892	Boeing 737-800	145	D	1:15 PM
25	Air Asia	208	Airbus A320	145	C	1:15 PM
26	Aviastar	736	BAE 146 Passenge	125	C	1:20 PM
27	Sriwijaya Air	74	Boeing 737-400	150	C	1:20 PM
28	Citilink	9846	Airbus A320	145	C	1:25 PM
29	Kal Star Aviation	700	Boeing 737-500	139	C	1:30 PM
30	Garuda Indonesia	108	Boeing 737-800	145	D	1:30 PM
31	Sriwijaya Air	222	Boeing 737-500	139	C	1:30 PM
32	Garuda Indonesia	238	Boeing 737-800	145	D	1:30 PM
33	Lion Air	12	Boeing 737-900	149	D	1:30 PM
34	Sriwijaya Air	94	Boeing 737-500	139	C	1:30 PM
35	Garuda Indonesia	316	Boeing 737-800	145	D	1:35 PM
36	Lion Air	582	Boeing 737-900	149	D	1:35 PM
37	Garuda Indonesia	188	Boeing 737-800	145	D	1:40 PM
38	Citilink	9128	Airbus A320	145	C	1:40 PM
39	Lion Air	612	Boeing 737-900	149	D	1:40 PM

**Tabel 4.5** (Lanjutan)

No	DEPARTURE			Take Off Speed ( Knot )	Kategori Pesawat	Waktu
	Pesawat	No. Pesawat	Tipe Pesawat			
40	Citilink	805	Airbus A320	145	C	1:40 PM
41	Lion Air	524	Boeing 737-900	149	D	1:40 PM
42	Garuda Indonesia	568	Boeing 737-800	145	D	1:40 PM
43	Air Asia	7532	Airbus A320	145	C	1:40 PM

**Tabel 4.6** Jadwal penerbangan pada *peak hour* untuk kedatangan/  
*arrival*

No	ARRIVAL			Landing Speed ( Knot )	Kategori Pesawat	Waktu
	Pesawat	No. Pesawat	Tipe Pesawat			
1	Garuda Indonesia	109	Boeing 737-800	147	D	12:45 PM
2	Sriwijaya Air	597	Boeing 737-300	147	C	12:45 PM
3	Air Asia	7527	Airbus A320	137	C	12:45 PM
4	Lion Air	29	Boeing 737-900	150	D	12:45 PM
5	Lion Air	753	Boeing 737-900	150	D	12:45 PM
6	Garuda Indonesia	237	Boeing 737-800	147	D	12:45 PM
7	Garuda Indonesia	313	Boeing 737-800	147	D	12:45 PM
8	Sriwijaya Air	55	Boeing 737-300	132	C	12:45 PM
9	Garuda Indonesia	407	Airbus A330-200	140	C	12:50 PM
10	Lion Air	163	Boeing 737-900	150	D	12:50 PM
11	Garuda Indonesia	225	Boeing 737-800	147	D	12:50 PM
12	Garuda Indonesia	175	Boeing 737-800	147	D	12:55 PM
13	Citilink	804	Airbus A320	137	C	12:55 PM
14	Lion Air	605	Boeing 737-900	150	D	12:55 PM
15	Xpress Air	811	Boeing 737-500	128	C	12:55 PM
16	Xpress Air	801	Boeing 737-500	128	C	12:55 PM

**Tabel 4.6 (Lanjutan)**

No	ARRIVAL			Landing Speed ( Knot )	Kategori Pesawat	Waktu
	Pesawat	No. Pesawat	Tipe Pesawat			
17	China Airlines	761	Airbus A330-300	140	C	1:00 PM
18	Royal Brunei	735	Airbus A319	130	C	1:00 PM
19	Garuda Indonesia	873	Boeing 737-800	147	D	1:00 PM
20	Lion Air	713	Boeing 737-800	147	D	1:00 PM
21	Vietnam Airlines	631	Airbus A321	134	C	1:00 PM
22	Lion Air	617	Boeing 737-800	147	D	1:05 PM
23	Sriwijaya Air	225	Boeing 737-300	132	C	1:05 PM
24	Garuda Indonesia	603	Boeing 737-800	147	D	1:05 PM
25	Citilink	9821	Airbus A320	137	C	1:10 PM
26	Cathay Pacific	777	Airbus A330-300	140	C	1:10 PM
27	Garuda Indonesia	829	Boeing 737-800	147	D	1:10 PM
28	Air Asia	7531	Airbus A320	137	C	1:15 PM
29	Air Asia	7553	Airbus A320	137	C	1:15 PM
30	Singapore Airlines	958	Boeing 777-300	149	D	1:15 PM
31	Garuda Indonesia	1492	Boeing 737-800	147	D	1:15 PM
32	Sriwijaya Air	59	Boeing 737-500	128	C	1:15 PM
33	Eva Air	237	Airbus A330-200	140	C	1:20 PM
34	Garuda Indonesia	137	Boeing 737-800	147	D	1:20 PM
35	Sriwijaya Air	5	Boeing 737-500	128	C	1:20 PM
36	Garuda Indonesia	155	Boeing 737-800	147	D	1:25 PM
37	Cathay Pacific	3241	Boeing 747-400	152	D	1:25 PM
38	Batik Air	6885	Boeing 737-800	147	D	1:25 PM
39	Lion Air	395	Boeing 737-900	150	D	1:25 PM
42	Batik Air	6855	Boeing 737-800	147	D	1:30 PM
43	Mihin Lanka	603	Airbus A320	137	C	1:35 PM
44	Srilankan	2963	Airbus A321	134	C	1:35 PM

**Tabel 4.6** (Lanjutan)

No	ARRIVAL			Landing Speed ( Knot )	Kategori Pesawat	Waktu
	Pesawat	No. Pesawat	Tipe Pesawat			
45	Lion Air	377	Boeing 737-900	150	D	1:35 PM
46	Oman Air	847	Airbus A330-200	140	C	1:35 PM
47	Kal Star Aviation	729	Embraer 195	131	C	1:35 PM
48	Lion Air	657	Boeing 737-900	150	D	1:40 PM
49	Garuda Indonesia	651	Boeing 737-800	147	D	1:40 PM
50	Garuda Indonesia	185	Boeing 737-800	147	D	1:40 PM
51	Lion Air	591	Boeing 737-900	150	D	1:40 PM

#### 4.2.1 Kapasitas Eksisting *Runway 1* Menggunakan *Time Space Analysis* Metode Matematis

Dalam perhitungan kapasitas *runway* kondisi eksisting ini menggunakan metode matematis yang nantinya akan dibandingkan dengan perhitungan simulasi *time space analysis* dengan menggunakan program bantu Microsoft Excel.

Bandara Soekarno-Hatta beroperasi menggunakan dua *runway* parallel. *Runway 1* mempunyai ukuran panjang 3660 meter dan lebar 60 meter. Berdasarkan data *peak hour* diketahui jumlah pergerakan pesawat sebanyak 94 kali. Diasumsikan bahwa *runway 1* melayani pergerakan untuk terminal 1 dan *runway 2* melayani pergerakan untuk terminal 2 dan 3. Berikut pembagian pergerakan pesawat pada *runway 1* dan 2 ditunjukkan pada tabel 4.7

**Tabel 4.7** Pembagian pergerakan *runway 1* dan 2

	Total	Arrival	Departure	Arrival (%)	Departure (%)
Runway 1	44	18	26	41	59
Runway 2	50	33	17	66	34



Berdasarkan tabel 4.7 diketahui *runway* 1 melayani 18 kedatangan dan 26 keberangkatan. Jadwal penerbangan pada *peak hour* di *runway* 1 ditunjukkan pada tabel 4.8

**Tabel 4.8** Jadwal kedatangan dan keberangkatan *runway* 1

No.	Pesawat	No. Pesawat	Tipe Pesawat	Kode	Arr/Dep	Waktu
1	Sriwijaya Air	597	Boeing 737-300	C	Arrival	12:45 PM
2	Lion Air	29	Boeing 737-900	D	Arrival	12:45 PM
3	Sriwijaya Air	55	Boeing 737-300	C	Arrival	12:45 PM
4	Lion Air	684	Boeing 737-800	D	Departure	12:50 PM
5	Lion Air	634	Boeing 737-900	D	Departure	12:50 PM
6	Lion Air	764	Boeing 737-900	D	Departure	12:50 PM
7	Lion Air	382	Boeing 737-900	D	Departure	12:50 PM
8	Sriwijaya Air	192	Boeing 737-500	C	Departure	12:50 PM
9	Citilink	804	Airbus A320	C	Arrival	12:55 PM
10	Lion Air	605	Boeing 737-900	D	Arrival	12:55 PM
11	Xpress Air	811	Boeing 737-500	C	Arrival	12:55 PM
12	Xpress Air	801	Boeing 737-500	C	Arrival	12:55 PM
13	Batik Air	6406	Airbus A320	C	Departure	12:55 PM
14	Sriwijaya Air	266	Boeing 737-300	C	Departure	1:00 PM
15	Lion Air	617	Boeing 737-800	D	Arrival	1:05 PM
16	Sriwijaya Air	225	Boeing 737-300	C	Arrival	1:05 PM
17	Citilink	1846	Airbus A320	C	Departure	1:05 PM
18	Citilink	846	Airbus A320	C	Departure	1:05 PM
19	Citilink	9821	Airbus A320	C	Arrival	1:10 PM
20	Batik Air	6854	Boeing 737-900	D	Departure	1:10 PM
21	Lion Air	352	Boeing 737-900	D	Departure	1:10 PM
22	Citilink	9743	Airbus A320	C	Departure	1:10 PM

**Tabel 4.8** (Lanjutan)

No.	Pesawat	No. Pesawat	Tipe Pesawat	Kode	Arr/Dep	Waktu
23	Batik Air	6178	Airbus A320	C	Departure	1:10 PM
24	Lion Air	892	Boeing 737-800	D	Departure	1:10 PM
25	Sriwijaya Air	59	Boeing 737-500	C	Arrival	1:15 PM
26	Aviastar	736	BAE Systems 146	C	Departure	1:15 PM
27	Sriwijaya Air	57	Boeing 737-500	C	Arrival	1:20 PM
28	Sriwijaya Air	74	Boeing 737-400	C	Departure	1:20 PM
29	Citilink	9846	Airbus A320	C	Departure	1:20 PM
30	Batik Air	6885	Boeing 737-800	D	Arrival	1:25 PM
31	Lion Air	395	Boeing 737-900	D	Arrival	1:25 PM
32	Kal Star Aviation	700	Boeing 737-500	C	Departure	1:25 PM
33	Batik Air	6855	Boeing 737-800	D	Arrival	1:30 PM
34	Sriwijaya Air	222	Boeing 737-500	C	Departure	1:30 PM
35	Lion Air	12	Boeing 737-900	D	Departure	1:30 PM
36	Sriwijaya Air	94	Boeing 737-500	C	Departure	1:30 PM
37	Lion Air	377	Boeing 737-900	D	Arrival	1:35 PM
38	Lion Air	582	Boeing 737-900	D	Departure	1:35 PM
39	Lion Air	657	Boeing 737-900	D	Arrival	1:40 PM
40	Lion Air	591	Boeing 737-900	D	Arrival	1:40 PM
41	Citilink	9128	Airbus A320	C	Departure	1:40 PM
42	Lion Air	612	Boeing 737-900	D	Departure	1:40 PM
43	Citilink	805	Airbus A320	C	Departure	1:40 PM
44	Lion Air	524	Boeing 737-900	D	Departure	1:40 PM

#### 4.2.1.1 Kedatangan Saja

Langkah pertama yang harus dilakukan yaitu menghitung kapasitas *runway* 1 dengan menganggap bahwa *runway* akan melayani pesawat yang datang saja (*arrival only*) dengan cara-cara seperti yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya.

- **Keadaan Bebas Kesalahan [Mij]**

Diketahui pemisah minimum di antara pesawat yang dibutuhkan di ruang angkasa di dekat landasan ( $\delta_{ij}$ ) adalah seperti terlihat pada Bab II Tinjauan Pustaka tabel 2.1 dan jalur pintu masuk ke landasan rata-rata sebesar 6nmi. Perhitungan diasumsikan menggunakan kondisi IMC (*Instrument Meteorological Condition*).

- **Keadaan merapat**, dimana kecepatan pesawat di depan (*leading*,  $V_i$ ) lebih lambat daripada pesawat yang dibelakang (*trailing*,  $V_j$ ). Perhitungan untuk keadaan merapat menggunakan persamaan 2.4.

$$\text{Rumus : } T_{ij} = T_j - T_i = \frac{\delta_{ij}}{V_j}$$

Untuk  $V_c = 135$  knot dan  $V_D = 149$  Knot, didapat :

$$T_{CD} = \frac{3}{149} (3600) = 72,48 \text{ detik}$$

- **Keadaan Merenggang**, dimana kecepatan pesawat di depan (*leading*,  $V_i$ ) lebih cepat daripada kecepatan pesawat yang ada di belakang (*trailing*,  $V_j$ ). Perhitungan untuk keadaan merenggang menggunakan persamaan 2.5.

$$\text{Rumus : } T_{ij} = T_j - T_i = \frac{\delta_{ij}}{V_i} + \gamma \left( \frac{1}{V_j} - \frac{1}{V_i} \right)$$

Untuk  $V_D = 148$  knot dan  $V_C = 134$  knot, didapat :

$$T_{DC} = T_C - T_D = \frac{5(3600)}{149} + 6 \left( \frac{1}{135} - \frac{1}{149} \right) (3600)$$

$$T_{DC} = 135,83 \text{ detik}$$

- **Keadaan sama besar**, dimana kecepatan pesawat di depan  $i$  dan di belakang  $j$  sama besar. Perhitungan untuk keadaan ini menggunakan salah satu dari persamaan 2.4 atau persamaan 2.5.

$$\text{Dipilih rumus : } T_{ij} = T_j - T_i = \frac{\delta_{ij}}{V_i}$$

Untuk  $V_i = V_j = 135$  knot, didapat :

$$T_{CC} = \frac{3}{135} (3600) = 80,00 \text{ detik}$$

Untuk  $V_i = V_j = 148$  knot, didapat :

$$T_{DD} = \frac{3}{149} (3600) = 72,48 \text{ detik}$$

maka didapat waktu pemisahan di udara ( $T_m$ ) yang akan digunakan dalam perhitungan kapasitas.

Apabila hasil-hasilnya ditabulasikan dalam sebuah matriks bebas kesalahan  $[M_{ij}]$ , maka akan dihasilkan pemisahan waktu minimum di ambang *runway* untuk semua keadaan sebagai berikut :

<i>Leading (i)</i>	<i>Trailing (j)</i>	
	C	D
C	80	72,48
D	135,83	72,48

Sementara presentase kombinasi  $[P_{ij}]$  yang terjadi dalam campuran dapat dilihat pada matriks presentase dibawah. Besarnya presentase campuran tersebut diperoleh dari jadwal kedatangan dan keberangkatan *runway* 1 pada tabel 4.8

Leading (i)	Trailing (j)	
	C	D
C	0,29	0,24
D	0,18	0,29

$$E[T_{ij}] = \sum P_{ij} M_{ij} = \sum P_{ij} T_{ij}$$

$$E[T_{ij}] = 85,87 \text{ detik}$$

Dengan demikian kapasitas sistem *runway* untuk melayani kedatangan saja yang didapat dari persamaan 2.1 akan menghasilkan :

$$C = \frac{1}{E(T_{ij})}$$

$$C = \frac{1}{85,87} (3600) = 41,92 \approx 42 \text{ operasi per jam.}$$

#### 4.2.1.2 Keberangkatan Saja

Langkah berikutnya yaitu dengan menganggap bahwa *runway* 1 hanya akan melayani pesawat yang berangkat saja (*departures only*) dengan cara-cara yang telah dijelaskan pada Bab II Tinjauan Pustaka

Jarak pisah minimum antar keberangkatan dapat dilihat pada Bab II Tinjauan Pustaka tabel 2.2. matriks persentase kombinasi [Pij] yang terjadi dalam campuran dapat dilihat pada matriks persentase dibawah. Besarnya persentase campuran tersebut diperoleh dari jadwal kedatangan dan keberangkatan *runway* 1 pada tabel 4.8.

Leading (i)	Trailing (j)	
	C	D
C	0,36	0,24
D	0,24	0,16

Berdasarkan persamaan 2.19 pada Bab II Tinjauan Pustaka, dapat dihitung besar waktu pelayanan antar keberangkatan di ambang *runway*  $E(td)$  adalah sebagai berikut:

$$E[td] = \sum (P_{ij}) (M_{ij})$$

$$E[td] = 91,2 \text{ detik}$$

Jadi, kapasitas *runway* yang hanya melayani keberangkatan saja diperoleh dari rumus pada persamaan 2.18.

$$C = \frac{1}{E(td)}$$

$$C = \frac{1}{91,2} (3600) = 39,47 \approx 40 \text{ operasi per jam.}$$

#### 4.2.1.3 Operasi Campuran (*Mixed*)

Langkah terakhir dalam menentukan kapasitas *runway* yaitu dengan menemukan kemungkinan dilakukannya operasi

keberangkatan (*departures*) di antara dua kedatangan (*arrivals*), pergerakan pesawat di *runway* harus mengutamakan pesawat yang akan mendarat (*arrivals*) karena apabila terjadi delay 30 menit, maka pesawat yang akan mendarat tersebut akan dialihkan ke bandara terdekat.

Waktu pemakaian *runway* rata-rata, merupakan jumlah perkalian dari persentase kategori pesawat dengan waktu pemakaian *runway* tiap kategori pesawat. Besarnya persentase kedatangan dan keberangkatan pada *runway* 1 berdasarkan kategori pesawat dapat dilihat pada tabel 4.9 dan untuk waktu pemakaian *runway* diambil yang terbesar dari masing-masing kategori, dapat dilihat pada tabel 4.4.

**Tabel 4.9** Pembagian kategori pesawat di *runway* 1

Kategori Pesawat	Runway 1			
	Arrival	Departure	Jumlah	Presentase (%)
C	9	15	24	55
D	9	11	20	45
Total	18	16	44	

Berdasarkan data tersebut dapat dihitung waktu pemakaian rata-rata *runway* ( $E[R_i]$ ) adalah :

$$E[R_i] = 0,55(0,45*60) + 0,45(0,51*60) = 29 \text{ detik.}$$

Waktu yang diharapkan pesawat yang datang untuk menempuh jarak 2 mil terakhir ke ambang *runway* adalah :

$$E \left[ \frac{\delta d}{V_j} \right] = \left[ 0,55 \left( \frac{2}{135} \right) + 0,45 \left( \frac{2}{149} \right) \right] (3600) = 51,07 \text{ detik.}$$

Berdasarkan perhitungan sebelumnya diketahui,

$$E(td) = 91,2 \text{ detik.}$$

Diasumsikan besar waktu penyangga yaitu,

$$E(B_{ij}) = 25,6 \text{ detik.}$$

Maka untuk menghitung kemungkinan suatu operasi keberangkatan dapat dilakukan di antara dua operasi kedatangan menggunakan persamaan 2.25.

$$E[T_{ij}] \geq E[R_i] + E\left[\frac{\delta d}{v_j}\right] + E(B_{ij}) + (n-1) E(td)$$

$$E[T_{ij}] \geq 29 + 51,07 + 25,6 + (n-1) 91,2$$

$$E[T_{ij}] \geq 105,67 + 91,2 (n-1)$$

Untuk satu keberangkatan di antara dua kedatangan, akan didapatkan waktu antar kedatangan sebesar 105,67 detik. Untuk dua keberangkatan di antara dua kedatangan akan didapat waktu antar kedatangan sebesar 196,87 detik dan seterusnya.

Oleh karena itu, satu kali keberangkatan dapat dilakukan di sembarang waktu jika waktu antar kedatangan sebesar 105,67 detik. Dari matriks waktu antar kedatangan dapat diketahui bahwa kemungkinan satu kali keberangkatan yang dapat dilakukan diantara dua kedatangan terjadi sebesar 18 persen, dan tidak akan bisa melakukan keberangkatan lebih dari satu kali diantara dua kedatangan. Kapasitas *runway* untuk kondisi tersebut dapat dihitung berdasarkan rumus dalam persamaan 2.14

$$C_m = \frac{1}{E(\Delta T_{ij})} (1 + \sum n_d p_{nd})$$



Karena nilai yang ada pada matriks waktu antar kedatangan  $[M_{ij}]$  paling tidak sebesar 105,67 detik, maka nilai yang lebih kecil dari itu akan diganti menjadi 105,67 detik agar satu kali keberangkatan dapat dilakukan diantara dua kedatangan dapat dilakukan diantara dua kedatangan.

Leading (i)	Trailing (j)	
	C	D
C	105,67	105,67
D	135,83	105,67

Sehingga,

$$E[T_{ij}] = \sum P_{ij} M_{ij} = \sum P_{ij} T_{ij}$$

$$E[T_{ij}] = 111,1 \text{ detik}$$

Maka,

$$C_m = \frac{1}{111,1} (1 + 0,18(1)) (3600)$$

$$C_m = 38,26 \approx 39 \text{ operasi per jam.}$$

Dengan menggunakan persentase probabilitas pesawat dalam penggunaan *runway* 1 seperti terlihat pada tabel 4.9, maka dari perhitungan kapasitas *runway* 1 pada hari Rabu, 14 juli 2015 akan didapatkan kapasitas *runway* kedatangan saja (*arrival only*) sebesar 42 operasi per jam, keberangkatan saja (*departure only*) sebesar 40 operasi per jam, dan operasi campuran (*mixed*) sebesar 39 operasi per jam.

#### 4.2.2 Kapasitas Eksisting *Runway 2* Menggunakan *Time Space Analysis* Metode Matematis

Berdasarkan tabel 4.7 diketahui *runway 2* melayani 33 kedatangan dan 17 keberangkatan. Jadwal penerbangan pada *peak hour* di *runway 1* ditunjukkan pada tabel 4.10

**Tabel 4.10** Jadwal kedatangan dan keberangkatan *runway 2*

No.	Pesawat	No. Pesawat	Tipe Pesawat	Kode	Arr/Dep	Waktu
1	Garuda Indonesia	109	Boeing 737-800	D	Arrival	12:45 PM
2	Air Asia	7527	Airbus A320	C	Arrival	12:45 PM
3	Lion Air	753	Boeing 737-900	D	Arrival	12:45 PM
4	Garuda Indonesia	237	Boeing 737-800	D	Arrival	12:45 PM
5	Garuda Indonesia	313	Boeing 737-800	D	Arrival	12:45 PM
6	Air Asia	256	Airbus A320	C	Departure	12:45 PM
7	Garuda Indonesia	868	Boeing 737-800	D	Departure	12:55 PM
8	Garuda Indonesia	407	Airbus A330-200	C	Arrival	12:50 PM
9	Lion Air	163	Boeing 737-900	D	Arrival	12:50 PM
10	Garuda Indonesia	225	Boeing 737-800	D	Arrival	12:50 PM
11	Garuda Indonesia	175	Boeing 737-800	D	Arrival	12:55 PM
12	China Airlines	761	Airbus A330-300	C	Arrival	1:00 PM
13	Royal Brunei	735	Airbus A319	C	Arrival	1:00 PM
14	Garuda Indonesia	873	Boeing 737-800	D	Arrival	1:00 PM
15	Lion Air	713	Boeing 737-800	D	Arrival	1:00 PM
16	Vietnam Airlines	631	Airbus A321	C	Arrival	1:00 PM
17	Phillippine Airlines	540	Airbus A320	C	Departure	1:00 PM
18	Lion Air	512	Boeing 737-800	D	Departure	1:00 PM
19	Garuda Indonesia	504	Boeing 737-800	D	Departure	1:00 PM
20	Garuda Indonesia	616	Boeing 737-800	D	Departure	1:00 PM
21	Garuda Indonesia	603	Boeing 737-800	D	Arrival	1:05 PM

**Tabel 4.10** (Lanjutan)

No.	Pesawat	No. Pesawat	Tipe Pesawat	Kode	Arr/Dep	Waktu
22	Saudi Arabian Airlines	825	Boeing 737-300	C	Departure	1:05 PM
23	Garuda Indonesia	210	Boeing 737-800	D	Departure	1:05 PM
24	Cathay Pacific	777	Airbus A330-300	C	Arrival	1:10 PM
25	Garuda Indonesia	829	Boeing 737-800	D	Arrival	1:10 PM
26	Garuda Indonesia	422	Boeing 737-800	D	Departure	1:10 PM
27	Malindo Air	315	Boeing 737-900	D	Departure	1:10 PM
28	Air Asia	7531	Airbus A320	C	Arrival	1:15 PM
29	Air Asia	7553	Airbus A320	C	Arrival	1:15 PM
30	Singapore Airlines	958	Boeing 777-300	D	Arrival	1:15 PM
31	Garuda Indonesia	1492	Boeing 737-800	D	Arrival	1:15 PM
32	Air Asia	208	Airbus A320	C	Departure	1:15 PM
33	Eva Air	237	Airbus A330-200	C	Arrival	1:20 PM
34	Garuda Indonesia	137	Boeing 737-800	D	Arrival	1:20 PM
35	Garuda Indonesia	155	Boeing 737-800	D	Arrival	1:25 PM
36	Cathay Pacific	3241	Boeing 747-400	D	Arrival	1:25 PM
37	Garuda Indonesia	285	Boeing 737-800	D	Arrival	1:25 PM
38	Garuda Indonesia	201	Boeing 737-800	D	Arrival	1:30 PM
39	Garuda Indonesia	108	Boeing 737-800	D	Departure	1:30 PM
40	Garuda Indonesia	238	Boeing 737-800	D	Departure	1:30 PM
41	Garuda Indonesia	316	Boeing 737-800	D	Departure	1:30 PM
42	Mihin Lanka	603	Airbus A320	C	Arrival	1:35 PM
43	Srilankan	2963	Airbus A321	C	Arrival	1:35 PM
44	Oman Air	847	Airbus A330-200	C	Arrival	1:35 PM
45	Kal Star Aviation	729	Embraer 195	C	Arrival	1:35 PM
46	Garuda Indonesia	188	Boeing 737-800	D	Departure	1:35 PM
47	Garuda Indonesia	651	Boeing 737-800	D	Arrival	1:40 PM
48	Garuda Indonesia	185	Boeing 737-800	D	Arrival	1:40 PM
49	Garuda Indonesia	568	Boeing 737-800	D	Departure	1:40 PM
50	Air Asia	7532	Airbus A320	C	Departure	1:40 PM

#### 4.2.2.1 Kedatangan Saja

Langkah penyelesaian yang dilakukan untuk kedatangan saja (*arrival only*) pada *runway* 2 yaitu sama dengan perhitungan pada *runway* 1 seperti yang telah dijelaskan sebelumnya.

- **Keadaan Bebas Kesalahan [Mij]**

Diketahui pemisah minimum di antara pesawat yang dibutuhkan di ruang angkasa di dekat landasan ( $\delta_{ij}$ ) adalah seperti terlihat pada Bab II Tinjauan Pustaka tabel 2.1 dan jalur pintu masuk ke landasan rata-rata sebesar 6nmi. Perhitungan diasumsikan menggunakan kondisi IMC (*Instrument Meteorological Condition*).

Waktu pemisahan di udara ( $T_m$ ) yang akan digunakan dalam perhitungan kapasitas sama dengan perhitungan *runway* 1. sehingga akan dihasilkan pemisahan waktu minimum di ambang *runway* untuk semua keadaan dalam sebuah matriks bebas kesalahan [Mij] sebagai berikut:

Leading (i)	Trailing (j)	
	C	D
C	80	72,48
D	135,83	72,48

Sementara presentase kombinasi [Pij] yang terjadi dalam campuran dapat dilihat pada matriks presentase dibawah. Besarnya presentase campuran tersebut diperoleh dari jadwal kedatangan dan keberangkatan *runway* 2 pada tabel 4.10

Leading (i)	Trailing (j)		
		C	D
C		0,16	0,25
D		0,28	0,31

$$E[T_{ij}] = \sum P_{ij} M_{ij} = \sum P_{ij} T_{ij}$$

$$E[T_{ij}] = 91,42 \text{ detik}$$

Dengan demikian kapasitas sistem *runway* untuk melayani kedatangan saja yang didapat dari persamaan 2.1 akan menghasilkan :

$$C = \frac{1}{E(T_{ij})}$$

$$C = \frac{1}{91,41} (3600) = 39,37 \approx 40 \text{ operasi per jam.}$$

#### 4.2.2.2 Keberangkatan Saja

Langkah perhitungan kapasitas *runway* 2 yang hanya akan melayani pesawat yang berangkat saja (*departures only*) dilakukan dengan cara seperti *runway* 1 sebelum ini.

matriks persentase kombinasi  $[P_{ij}]$  yang terjadi dalam campuran dapat dilihat pada matriks persentase dibawah. Besarnya persentase campuran tersebut diperoleh dari jadwal kedatangan dan keberangkatan *runway* 2 pada tabel 4.10

Leading (i)	Trailing (j)		
		C	D
C		0	0,25
D		0,25	0,5

Waktu pelayanan antar keberangkatan di ambang *runway*  $E(td)$  adalah sebagai berikut:

$$E[td] = \Sigma (P_{ij}) (M_{ij})$$

$$E[td] = 112,5 \text{ detik}$$

Jadi, kapasitas *runway* yang hanya melayani keberangkatan saja diperoleh dari rumus pada persamaan 2.18.

$$C = \frac{1}{E(td)}$$

$$C = \frac{1}{112,5} (3600) = 32 \text{ operasi per jam.}$$

#### 4.2.2.3 Operasi Campuran (*Mixed*)

Untuk kapasitas operasi campuran (*mixed*) *runway* 2, langkah perhitungannya sama seperti perhitungan pada operasi campuran *runway* 1.

Besarnya persentase kedatangan dan keberangkatan pada *runway* 2 berdasarkan kategori pesawat dapat dilihat pada tabel 4.11 dan untuk waktu pemakaian *runway* diambil yang terbesar dari masing-masing kategori, dapat dilihat pada tabel 4.4.

**Tabel 4.11** Pembagian kategori pesawat di *runway* 2

Kategori Pesawat	Runway 2			
	Arrival	Departure	Jumlah	Presentase (%)
C	13	5	18	36
D	20	12	32	64
Total	33	17	50	

Berdasarkan data tersebut dapat dihitung waktu pemakaian rata-rata *runway* ( $E[R_i]$ ) adalah :

$$E[R_i] = 0,36 (0,45 \cdot 60) + 0,64(0,51 \cdot 60) = 30 \text{ detik.}$$

Waktu yang diharapkan pesawat yang datang untuk menempuh jarak 2 mil terakhir ke ambang *runway* adalah :

$$E \left[ \frac{\delta d}{v_j} \right] = \left[ 0,36 \left( \frac{2}{135} \right) + 0,64 \left( \frac{2}{149} \right) \right] (3600) = 50,13 \text{ detik.}$$

Berdasarkan perhitungan sebelumnya diketahui,

$$E(t_d) = 112,5 \text{ detik.}$$

Diasumsikan besar waktu penyangga yaitu,

$$E(B_{ij}) = 25,6 \text{ detik.}$$

Maka untuk menghitung kemungkinan suatu operasi keberangkatan dapat dilakukan di antara dua operasi kedatangan menggunakan persamaan 2.25.

$$E[T_{ij}] \geq E[R_i] + E \left[ \frac{\delta d}{v_j} \right] + E(B_{ij}) + (n-1) E(t_d)$$

$$E[T_{ij}] \geq 30 + 50,13 + 25,6 + (n-1) 112,5$$

$$E[T_{ij}] \geq 105,73 + 112,5 (n-1)$$

Untuk satu keberangkatan di antara dua kedatangan, akan didapatkan waktu antar kedatangan sebesar 105,73 detik, sedangkan untuk dua keberangkatan di antara dua kedatangan

akan didapat waktu antar kedatangan sebesar 218,23 detik dan seterusnya.

Oleh karena itu, satu kali keberangkatan dapat dilakukan di sembarang waktu jika waktu antar kedatangan sebesar 105,73 detik. Dari matriks waktu antar kedatangan dapat diketahui bahwa kemungkinan satu kali keberangkatan yang dapat dilakukan diantara dua kedatangan terjadi sebesar 18 persen, dan tidak akan bisa melakukan keberangkatan lebih dari satu kali diantara dua kedatangan. Kapasitas *runway* untuk kondisi tersebut dapat dihitung berdasarkan rumus dalam persamaan 2.14

$$C_m = \frac{1}{E(\Delta T_{ij})} (1 + \sum n_d p_{nd})$$

Karena nilai yang ada pada matriks waktu antar kedatangan  $[M_{ij}]$  paling tidak sebesar 105,73 detik, maka nilai yang lebih kecil dari itu akan diganti menjadi 105,73 detik agar satu kali keberangkatan dapat dilakukan diantara dua kedatangan dapat dilakukan diantara dua kedatangan.

Leading (i)	Trailing (j)	
	C	D
C	105,73	105,73
D	135,83	105,73

Sehingga,

$$E[T_{ij}] = \sum P_{ij} M_{ij} = \sum P_{ij} T_{ij}$$

$$E[T_{ij}] = 111,15 \text{ detik}$$



Maka,

$$C_m = \frac{1}{111,15} (1 + 0,18 (1)) (3600)$$

$$C_m = 38,22 \approx 39 \text{ operasi per jam.}$$

Dengan menggunakan persentase probabilitas pesawat dalam penggunaan *runway 2* seperti terlihat pada tabel 4.11, maka dari perhitungan kapasitas *runway 2* pada hari Rabu, 14 juli 2015 akan didapatkan kapasitas runway kedatangan saja (*arrival only*) sebesar 40 operasi per jam, keberangkatan saja (*departure only*) sebesar 32 operasi per jam, dan operasi campuran (*mixed*) sebesar 39 operasi per jam.

### 4.3 Simulasi *Runway* Ekisiting Menggunakan Metode *Time Space Analysis*

Pada perhitungan kapasitas metode *time space analysis* dengan menggunakan program bantu Microsoft Excel, jadwal kedatangan dan keberangkatan yang digunakan berdasarkan data *peak hour* di bandara Soekarno-Hatta pada hari Rabu tanggal 15 Juli 2015 pada pukul 12:45 PM – 1:44 PM dengan total 94 pergerakan pesawat.

Untuk perhitungan dilakukan dua kali yaitu pada *runway 1* dan *runway 2*. Kecepatan dan panjang kebutuhan pesawat pada *peak hour* diambil dari *website contentzone.eurocontrol.int* dan bisa dilihat pada tabel 4.12 pada halaman selanjutnya.

**Tabel 4.12** Data kecepatan dan panjang kebutuhan pesawat pada saat *peak hour* di *runway*

Tipe Pesawat	Kategori	kecepatan take off (knots)	kebutuhan panjang take off (meter)	ROT take off (menit)	Kecepatan landing (Knot)	kebutuhan panjang landing (meter)	Min. Jrk threshold ke taxiway runway 1 (meter)	Min. Jrk threshold ke taxiway runway 2 (meter)	ROT landing (menit)	
									runway 1	runway 2
Airbus A319	C	135	1750	0,42	130	1350	1400	1400	0,35	0,35
Airbus A320	C	145	2190	0,49	137	1440	1825	2040	0,43	0,48
Airbus A321	C	145	2210	0,49	134	1600	1825	2175	0,44	0,52
Airbus A330-200	C	145	2300	0,51	140	1800	2185	2175	0,50	0,50
Airbus A330-300	C	145	2300	0,51	140	1700	1825	2175	0,42	0,50
BAE Systems 146	C	125	1600	0,41	125	1200	1400	1400	0,36	0,36
Boeing 737-300	C	140	1600	0,37	132	1400	1765	2040	0,43	0,50
Boeing 737-400	C	150	2000	0,43	139	1500	1825	2175	0,42	0,51
Boeing 737-500	C	139	1500	0,35	128	1400	1765	2040	0,45	0,52
Boeing 737-800	D	145	2300	0,51	147	1600	1825	2175	0,40	0,48
Boeing 737-900	D	149	2300	0,50	150	1700	1825	2175	0,39	0,47
Boeing 747-400	D	185	3300	0,58	152	2130	2220	2175	0,47	0,46
Boeing 777-300	D	168	3000	0,58	149	1800	2185	2175	0,47	0,47
Embraer 195	C	138	2056	0,48	131	1323	1400	1400	0,35	0,35

Selanjutnya dengan menggunakan program bantu Microsoft Excel dilakukan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Menentukan matriks jarak pemisah minimum *arrival-arrival* untuk masing-masing kategori pesawat, *Heavy* diikuti *Heavy*, *Heavy* diikuti *Large* dan seterusnya.
2. Mendapatkan waktu antar kedatangan dengan cara membagi jarak pemisah minimum antar pesawat dengan kecepatan masing-masing pesawat.
3. Mendapatkan waktu kedatangan / keberangkatan (*Time of Arrival / Departure*) pesawat yang merupakan akumulasi dari waktu kedatangan antar pesawat.
4. Menentukan ROT (*Runway Occupancy Time*) dengan cara membagi panjang kebutuhan landasan *runway* dengan kecepatan masing-masing pesawat.
5. Dengan menjumlahkan waktu kedatangan dengan lama waktu pemakaian *runway* rata-rata (ROT) maka akan didapatkan waktu akhir, yaitu waktu disaat pesawat telah mendarat dan keluar dari *runway*. setelah itu akan dijumlahkan dan diakumulasi sampai dengan waktu kurang dari / sama dengan 60 menit dan akan didapatkan jumlah pergerakan pesawat.

#### 4.3.1 *Runway 1*

Tujuan dari perhitungan ini adalah untuk membandingkan apakah kapasitas eksisting *runway* dengan metode *time space analysis* menggunakan Program Microsoft Excel yang dijalankan sama dengan proses perhitungan kapasitas *runway* dengan cara matematis.

Data jadwal kedatangan/keberangkatan saat *peak hour* dan kategori pesawat untuk *runway 1* yang ditunjukkan pada tabel 4.8, terdapat 44 jadwal penerbangan yang harus dilayani.

Perhitungan dilakukan untuk kapasitas *runway* pada operasi campuran (*mixed*). Contoh perhitungan yang dilakukan untuk mendapatkan kapasitas *runway* adalah sebagai berikut:

- Menentukan pemisah minimum

Jarak pemisah antar pesawat minimum untuk operasi campuran adalah hampir dengan perhitungan sebelumnya, untuk *arrival-arrival* adalah *separation arrival-arrival* pada tabel 2.1 dibagi dengan kecepatan pesawat *landing*, untuk *departure-departure* sama dengan jarak pemisah minimum antar pesawat untuk *departure-departure* yang dapat dilihat pada tabel 2.2, untuk *arrival-departure* adalah sama dengan jarak pemisah minimum antar pesawat untuk *departure-departure*, sedangkan minimum pemisah minimum untuk *departure-arrival* adalah 2nmi. Berikut rekap pemisah minimum untuk perhitungan *runway* eksisting yang ditunjukkan pada tabel 4.13

**Tabel 4.13** Rekap pemisah minimum antar pesawat

Leading	Trailing			
	C (Arrival)	D (Arrival)	C (Departure)	D (Departure)
	nm	nm	detik	detik
C (Arrival)	3	3	60	90
D (Arrival)	5	3	120	120
C (Departure)	2	2	60	90
D (Departure)	2	2	120	120

- Waktu antar kedatangan (Interarrival time)

Waktu antar kedatangan didapat dari pemisah minimum antar pesawat dibagi dengan *approach speed*.

contoh perhitungan interarrival time :

- Arrival – arrival

Jika pesawat didepan termasuk kategori C dengan kecepatan pesawat sebesar 132 knot dan pesawat dibelakang termasuk kategori D, maka :

$$\begin{aligned}\text{Interarrival time} &= (3/132) \times (3600) \\ &= 81,82 \text{ detik} = 1,36 \text{ menit}\end{aligned}$$

- Departure – departure

Interarrival antara departure-departure sama dengan pemisah minimum nya, sehingga jika pesawat didepan termasuk kategori D dan pesawat dibelakang termasuk kategori D maka :

$$\text{Interarrival time} = 120 \text{ detik} = 2 \text{ menit}$$

- Arrival – departure

Interarrival antara arrival-departure sama dengan pemisah minimum nya, sehingga jika pesawat didepan termasuk kategori C dan pesawat dibelakang termasuk kategori D, maka :

$$\text{Interarrival time} = 90 \text{ detik} = 1,5 \text{ menit}$$

- Departure – arrival

Jika pesawat didepan termasuk kategori C dengan kecepatan pesawat sebesar 139 knot dan pesawat dibelakang termasuk kategori C, maka :

$$\begin{aligned}\text{Interarrival time} &= (2/139) \times (3600) \\ &= 51,80 \text{ detik} = 0,86 \text{ menit}\end{aligned}$$

- Waktu kedatangan/Keberangkatan (*Time of Arrival / Departure*)

Adalah akumulasi dari interarrival time.

Contoh perhitungan time of arrival / departure :

$$\begin{aligned} \text{Time of arrival} &= 1,36 + 2,0 \\ &= 3,36 \text{ menit} \\ \text{Time of arrival} &= 3,36 + 1,50 \\ &= 4,86 \text{ menit} \end{aligned}$$

dan seterusnya.

- ROT (*Runway Occupancy Time*)

Didapat dari pembagian antara panjang landasan dan kecepatan masing-masing kategori pesawat yang diambil dari data pesawat. ROT untuk kedatangan dapat dilihat pada tabel 4.12

Contoh perhitungan ROT :

- Diketahui kecepatan take off 135 knot dan kebutuhan panjang landasan 1750 meter, maka:

$$1 \text{ knot} = 1,852 \text{ km/jam}$$

$$1 \text{ km/jam} = 1000/60 = 16,7 \text{ meter/menit}$$

$$135 \text{ knot} = 135 \times 1,852 \times 16,7 = 4175,34 \text{ m/menit}$$

$$\text{Sehingga ROT} = 1750/4175,34 = 0,42 \text{ menit.}$$

- Diketahui kecepatan landing 130 knot dan kebutuhan panjang landasan 1350 meter, maka:

Untuk landing, pesawat diasumsikan keluar dari runway melalui taxiway terdekat. Data taxiway didapat menggunakan software Google Earth dengan cara mengukur panjang exit taxiway dari threshold pada ujung-ujung runway. Threshold berfungsi sebagai tanda permulaan yang digunakan untuk pendaratan. Data yang dirangkum tidak 100% akurat, namun dianggap mendekati nilai yang sebenarnya. Exit taxiway yang digunakan adalah jarak yang mencukupi untuk kedua arah threshold. Jarak exit taxiway bisa dilihat pada tabel 4.14.

**Tabel 4.14** Rekap jarak *exit taxiway runway 1*

Runway 1	Taxiway	Jarak dari Threshold 07R	Jarak dari Threshold 25L
Taxiway 1	S1	0	3595
Taxiway 2	S2	960	2635
Taxiway 3	S3	1370	2220
Taxiway 4	S4	1765	1825
Taxiway 5	S5	2185	1400
Taxiway 6	S6	2660	935
Taxiway 7	S7	3595	0

Panjang runway yang dibutuhkan untuk mendarat adalah 1350 meter, dari arah 07R exit taxiway yang terdekat adalah 1370 dan dari arah 25L exit taxiway yang terdekat adalah 1400. Maka panjang runway yang dipilih untuk menghitung ROT adalah 1400 meter, sehingga :

$$\text{ROT} = 1400 / (130 \times 1,852 \times 16,7) = 0,35 \text{ menit.}$$

- Waktu akhir (Time Service Ends)

Adalah jumlah dari time of arrival dengan ROT.

$$\begin{aligned} \text{Time service ends} &= 1,36 + 0,39 \\ &= 1,75 \text{ menit} \end{aligned}$$

Dan seterusnya.

Diakumulasikan seterusnya hingga pergerakan pesawat terakhir. Jumlah kapasitas pergerakan pesawat yang dihitung adalah kurang dari / sama dengan 60 menit. Dari perhitungan didapatkan kapasitas pada runway 1 untuk operasi campuran (mixed) sebesar 42 pergerakan per jam.

Berikut perhitungan kapasitas runway 1 pada peak hour untuk operasi campuran ditunjukkan pada tabel 4.15.

**Tabel 4.15** Perhitungan kapasitas eksisting *runway* 1 berdasarkan *time space analysis*

No.	Pesawat	No. Pesawat	Tipe Pesawat	Waktu	Arr/Dep	Kategori	Jarak pemisah minimum Arr/Dep	Take off/ landing Speed (knot)	Interarrival Time Arr/Dep (menit)	Time of Arr/Dep (menit)	ROT Arr/Dep (menit)	Time Service end (menit)
1	Sriwijaya Air	597	Boeing 737-300	12:45 PM	Arrival	C		132	-	-	0,43	0,43
2	Lion Air	29	Boeing 737-900	12:45 PM	Arrival	D	3 nm	150	1,36	1,36	0,39	1,75
3	Sriwijaya Air	55	Boeing 737-300	12:45 PM	Arrival	C	5 nm	132	2,00	3,36	0,43	3,79
4	Lion Air	684	Boeing 737-800	12:50 PM	Departure	D	90 detik	145	1,5	4,86	0,51	5,37
5	Lion Air	634	Boeing 737-900	12:50 PM	Departure	D	120 detik	149	2	6,86	0,50	7,36
6	Lion Air	764	Boeing 737-900	12:50 PM	Departure	D	120 detik	149	2	8,86	0,50	9,36
7	Lion Air	382	Boeing 737-900	12:50 PM	Departure	D	120 detik	149	2	10,86	0,50	11,36
8	Sriwijaya Air	192	Boeing 737-500	12:50 PM	Departure	C	120 detik	139	2	12,86	0,35	13,21
9	Citilink	804	Airbus A320	12:55 PM	Arrival	C	2 nm	137	0,86	13,73	0,43	14,16
10	Lion Air	605	Boeing 737-900	12:55 PM	Arrival	D	3 nm	150	1,31	15,04	0,39	15,43
11	Xpress Air	811	Boeing 737-500	12:55 PM	Arrival	C	5 nm	128	2,00	17,04	0,45	17,49
12	Xpress Air	801	Boeing 737-500	12:55 PM	Arrival	C	3 nm	128	1,41	18,45	0,45	18,90
13	Batik Air	6406	Airbus A320	12:55 PM	Departure	C	60 detik	145	1	19,45	0,49	19,94
14	Sriwijaya Air	266	Boeing 737-300	1:00 PM	Departure	C	60 detik	140	1	20,45	0,37	20,82
15	Lion Air	617	Boeing 737-800	1:05 PM	Arrival	D	2 nm	147	0,86	21,30	0,40	21,70



**Tabel 4.15** (Lanjutan)

No.	Pesawat	No. Pesawat	Tipe Pesawat	Waktu	Arr/Dep	Kategori	Jarak pemisah minimum Arr/Dep	Take off/ landing Speed (knot)	Interarrival Time Arr/Dep (menit)	Time of Arr/Dep (menit)	ROT Arr/Dep (menit)	Time Service end (menit)
16	Sriwijaya Air	225	Boeing 737-300	1:05 PM	Arrival	C	5 nm	132	2,04	23,35	0,43	23,78
17	Citilink	1846	Airbus A320	1:05 PM	Departure	C	60 detik	145	1	24,35	0,49	24,84
18	Citilink	846	Airbus A320	1:05 PM	Departure	C	60 detik	145	1	25,35	0,49	25,84
19	Citilink	9821	Airbus A320	1:10 PM	Arrival	C	2 nm	137	0,83	26,17	0,43	26,60
20	Batik Air	6854	Boeing 737-900	1:10 PM	Departure	D	90 detik	149	1,5	27,67	0,50	28,17
21	Lion Air	352	Boeing 737-900	1:10 PM	Departure	D	120 detik	149	2	29,67	0,50	30,17
22	Citilink	9743	Airbus A320	1:10 PM	Departure	C	120 detik	145	2	31,67	0,49	32,16
23	Batik Air	6178	Airbus A320	1:10 PM	Departure	C	60 detik	145	1	32,67	0,49	33,16
24	Lion Air	892	Boeing 737-800	1:10 PM	Departure	D	90 detik	145	1,5	34,17	0,51	34,68
25	Sriwijaya Air	59	Boeing 737-500	1:15 PM	Arrival	C	2 nm	128	0,83	35,00	0,45	35,45
26	Aviastar	736	BAE Systems 146	1:15 PM	Departure	C	60 detik	125	1	36,00	0,41	36,41
27	Sriwijaya Air	57	Boeing 737-500	1:20 PM	Arrival	C	2 nm	128	0,96	36,96	0,45	37,41
28	Sriwijaya Air	74	Boeing 737-400	1:20 PM	Departure	C	60 detik	150	1	37,96	0,43	38,39
29	Citilink	9846	Airbus A320	1:20 PM	Departure	C	60 detik	145	1	38,96	0,49	39,45
30	Batik Air	6885	Boeing 737-800	1:25 PM	Arrival	D	2 nm	147	0,83	39,79	0,40	40,19

**Tabel 4.15** (Lanjutan)

No.	Pesawat	No. Pesawat	Tipe Pesawat	Waktu	Arr/Dep	Kategori	Jarak pemisah minimum Arr/Dep	Take off/ landing Speed (knot)	Interarrival Time Arr/Dep (menit)	Time of Arr/Dep (menit)	ROT Arr/Dep (menit)	Time Service end (menit)
31	Lion Air	395	Boeing 737-900	1:25 PM	Arrival	D	3 nm	150	1,22	41,01	0,39	41,40
32	Kal Star Aviation	700	Boeing 737-500	1:25 PM	Departure	C	120 detik	139	2	43,01	0,35	43,36
33	Batik Air	6855	Boeing 737-800	1:30 PM	Arrival	D	2 nm	147	0,86	43,88	0,40	44,28
34	Sriwijaya Air	222	Boeing 737-500	1:30 PM	Departure	C	120 detik	139	2	45,88	0,35	46,23
35	Lion Air	12	Boeing 737-900	1:30 PM	Departure	D	90 detik	149	1,5	47,38	0,50	47,88
36	Sriwijaya Air	94	Boeing 737-500	1:30 PM	Departure	C	120 detik	139	2	49,38	0,35	49,73
37	Lion Air	377	Boeing 737-900	1:35 PM	Arrival	D	2 nm	150	0,86	50,24	0,39	50,63
38	Lion Air	582	Boeing 737-900	1:35 PM	Departure	D	120 detik	149	2	52,24	0,50	52,74
39	Lion Air	657	Boeing 737-900	1:40 PM	Arrival	D	2 nm	150	0,81	53,04	0,39	53,43
40	Lion Air	591	Boeing 737-900	1:40 PM	Arrival	D	3 nm	150	1,20	54,24	0,39	54,63
41	Citilink	9128	Airbus A320	1:40 PM	Departure	C	120 detik	145	2	56,24	0,49	56,73
42	Lion Air	612	Boeing 737-900	1:40 PM	Departure	D	90 detik	149	1,5	57,74	0,50	58,24
43	Citilink	805	Airbus A320	1:40 PM	Departure	C	120 detik	145	2	59,74	0,49	60,23
44	Lion Air	524	Boeing 737-900	1:40 PM	Departure	D	90 detik	149	1,5	61,24	0,50	61,74

### 4.3.2 Runway 2

Perhitungan yang dilakukan sama seperti pada pembahasan 4.3.1, untuk perhitungan eksisting kapasitas runway 1 menggunakan metode time space analysis.

jadwal kedatangan/keberangkatan saat peak hour dan kategori pesawat untuk runway 2 ditunjukkan pada tabel 4.10, dan terdapat 50 penerbangan yang harus dilayani. Perhitungan dilakukan untuk kapasitas runway pada operasi campuran (*mixed*).

Jarak exit taxiway dari threshold pada runway 2 yang digunakan untuk perhitungan ROT landing bisa dilihat pada tabel 4.16 dibawah.

**Tabel 4.16** Rekap jarak *exit taxiway runway 2*

Runway 2	Taxiway	Jarak dari Threshold 07L	Jarak dari Threshold 25R
Taxiway 1	N1	0	3530
Taxiway 2	N2	560	2975
Taxiway 3	N3	1360	2175
Taxiway 4	N4	2040	1495
Taxiway 5	N3	2135	1400
Taxiway 6	N2	2600	930
Taxiway 7	N1	3530	0

Jumlah kapasitas pergerakan pesawat yang dihitung adalah kurang dari / sama dengan 60 menit. Dari perhitungan didapatkan kapasitas pada runway 2 untuk operasi campuran (*mixed*) sebesar 42 pergerakan per jam.

Berikut perhitungan kapasitas runway 2 pada peak hour untuk operasi campuran ditunjukkan pada tabel 4.17.

**Tabel 4.17** Perhitungan kapasitas eksisting *runway 2* berdasarkan *time space analysis*

No.	Pesawat	No. Pesawat	Tipe Pesawat	Waktu	Arr/Dep	Kategori	Jarak pemisah minimum Arr/Dep	Take off/ landing Speed (knot)	Interarrival Time Arr/Dep (menit)	Time of Arr/Dep (menit)	ROT Arr/Dep (menit)	Time Service end (menit)
1	Garuda Indonesia	109	Boeing 737-800	12:45 PM	Arrival	D	-	147	-	-	-	-
2	Air Asia	7527	Airbus A320	12:45 PM	Arrival	C	5 nm	137	2,04	2,04	0,48	2,52
3	Lion Air	753	Boeing 737-900	12:45 PM	Arrival	D	3 nm	150	1,31	3,35	0,47	3,82
4	Garuda Indonesia	237	Boeing 737-800	12:45 PM	Arrival	D	3 nm	147	1,20	4,55	0,48	5,03
5	Garuda Indonesia	313	Boeing 737-800	12:45 PM	Arrival	D	3 nm	147	1,22	5,78	0,48	6,26
6	Air Asia	256	Airbus A320	12:45 PM	Departure	C	120 detik	145	2	7,78	0,49	8,27
7	Garuda Indonesia	868	Boeing 737-800	12:55 PM	Departure	D	90 detik	145	1,5	9,28	0,51	9,79
8	Garuda Indonesia	407	Airbus A330-200	12:50 PM	Arrival	C	2 nm	140	0,83	10,11	0,50	10,61
9	Lion Air	163	Boeing 737-900	12:50 PM	Arrival	D	3 nm	150	1,29	11,39	0,47	11,86
10	Garuda Indonesia	225	Boeing 737-800	12:50 PM	Arrival	D	3 nm	147	1,20	12,59	0,48	13,07
11	Garuda Indonesia	175	Boeing 737-800	12:55 PM	Arrival	D	3 nm	147	1,22	13,82	0,48	14,30
12	China Airlines	761	Airbus A330-300	1:00 PM	Arrival	C	5 nm	140	2,04	15,86	0,50	16,36
13	Royal Brunei	735	Airbus A319	1:00 PM	Arrival	C	3 nm	130	1,29	17,14	0,35	17,49
14	Garuda Indonesia	873	Boeing 737-800	1:00 PM	Arrival	D	3 nm	147	1,38	18,53	0,48	19,01
15	Lion Air	713	Boeing 737-800	1:00 PM	Arrival	D	3 nm	147	1,22	19,75	0,48	20,23

**Tabel 4.17 (Lanjutan)**

No.	Pesawat	No. Pesawat	Tipe Pesawat	Waktu		Kategori	Jarak pemisah minimum Arr/Dep	Take off/ landing Speed (knot)	Interarrival Time Arr/Dep (menit)	Time of Arr/Dep (menit)	ROT Arr/Dep (menit)	Time Service end (menit)
16	Vietnam Airlines	631	Airbus A321	1:00 PM	Arrival	C	5 nm	134	2,04	21,79	0,52	22,31
17	Phillippine Airlines	540	Airbus A320	1:00 PM	Departure	C	60 detik	145	1	22,79	0,49	23,28
18	Lion Air	512	Boeing 737-800	1:00 PM	Departure	D	90 detik	145	1,5	24,29	0,51	24,80
19	Garuda Indonesia	504	Boeing 737-800	1:00 PM	Departure	D	120 detik	145	2	26,29	0,51	26,80
20	Garuda Indonesia	616	Boeing 737-800	1:00 PM	Departure	D	120 detik	145	2	28,29	0,51	28,80
21	Garuda Indonesia	603	Boeing 737-800	1:05 PM	Arrival	D	2 nm	147	0,83	29,12	0,48	29,60
22	Saudi Arabian Airlin	825	Boeing 737-300	1:05 PM	Departure	C	120 detik	140	2	31,12	0,37	31,49
23	Garuda Indonesia	210	Boeing 737-800	1:05 PM	Departure	D	3 nm	140	1,29	32,41	0,51	32,92
24	Cathay Pacific	777	Airbus A330-300	1:10 PM	Arrival	C	2 nm	140	0,86	33,26	0,50	33,76
25	Garuda Indonesia	829	Boeing 737-800	1:10 PM	Arrival	D	3 nm	147	1,29	34,55	0,48	35,03
26	Garuda Indonesia	422	Boeing 737-800	1:10 PM	Departure	D	120 detik	145	2	36,55	0,51	37,06
27	Malindo Air	315	Boeing 737-900	1:10 PM	Departure	D	120 detik	149	2	38,55	0,50	39,05
28	Air Asia	7531	Airbus A320	1:15 PM	Arrival	C	2 nm	137	0,81	39,35	0,48	39,83
29	Air Asia	7553	Airbus A320	1:15 PM	Arrival	C	3 nm	137	1,31	40,67	0,48	41,15
30	Singapore Airlines	958	Boeing 777-300	1:15 PM	Arrival	D	3 nm	149	1,31	41,98	0,47	42,45

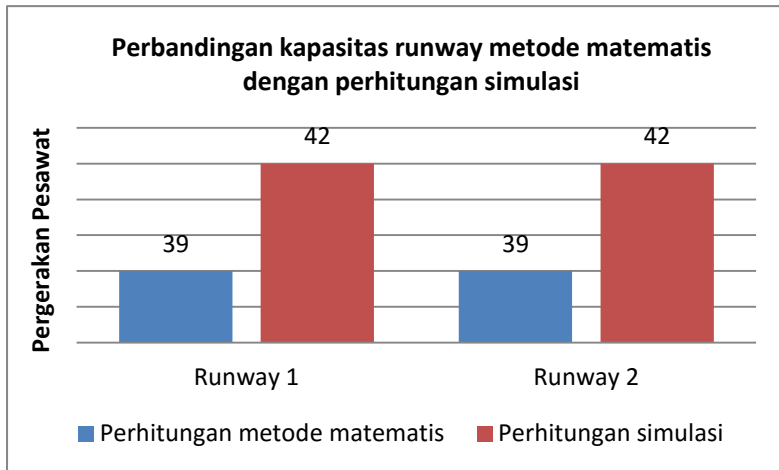
**Tabel 4.17** (Lanjutan)

No.	Pesawat	No. Pesawat	Tipe Pesawat	Waktu	Arr/Dep	Kategori	Jarak pemisah minimum Arr/Dep	Take off/ landing Speed (knot)	Interarrival Time Arr/Dep (menit)	Time of Arr/Dep (menit)	ROT Arr/Dep (menit)	Time Service end (menit)
31	Garuda Indonesia	1492	Boeing 737-800	1:15 PM	Arrival	D	3 nm	147	1,21	43,19	0,48	43,67
32	Air Asia	208	Airbus A320	1:15 PM	Departure	C	120 detik	145	2	45,19	0,49	45,68
33	Eva Air	237	Airbus A330-200	1:20 PM	Arrival	C	2 nm	140	0,83	46,02	0,50	46,52
34	Garuda Indonesia	137	Boeing 737-800	1:20 PM	Arrival	D	3 nm	147	1,29	47,30	0,48	47,78
35	Garuda Indonesia	155	Boeing 737-800	1:25 PM	Arrival	D	3 nm	147	1,22	48,53	0,48	49,01
36	Cathay Pacific	3241	Boeing 747-400	1:25 PM	Arrival	D	3 nm	152	1,22	49,75	0,46	50,21
37	Garuda Indonesia	285	Boeing 737-800	1:25 PM	Arrival	D	3 nm	147	1,18	50,94	0,48	51,42
38	Garuda Indonesia	201	Boeing 737-800	1:30 PM	Arrival	D	3 nm	147	1,22	52,16	0,48	52,64
39	Garuda Indonesia	108	Boeing 737-800	1:30 PM	Departure	D	120 detik	145	2	54,16	0,51	54,67
40	Garuda Indonesia	238	Boeing 737-800	1:30 PM	Departure	D	120 detik	145	2	56,16	0,51	56,67
41	Garuda Indonesia	316	Boeing 737-800	1:30 PM	Departure	D	120 detik	145	2	58,16	0,51	58,67
42	Mihin Lanka	603	Airbus A320	1:35 PM	Arrival	C	2 nm	137	0,83	58,99	0,48	59,47
43	Srilankan	2963	Airbus A321	1:35 PM	Arrival	C	3 nm	134	1,31	60,30	0,52	60,82
44	Oman Air	847	Airbus A330-200	1:35 PM	Arrival	C	3 nm	140	1,34	61,65	0,50	62,15

**Tabel 4.17** (Lanjutan)

No.	Pesawat	No. Pesawat	Tipe Pesawat	Waktu	Arr/Dep	Kategori	Jarak pemisah minimum Arr/Dep	Take off/ landing Speed (knot)	Interarrival Time Arr/Dep (menit)	Time of Arr/Dep (menit)	ROT Arr/Dep (menit)	Time Service end (menit)
45	Kal Star Aviation	729	Embraer 195	1:35 PM	Arrival	C	3 nm	131	1,29	62,93	0,35	63,28
46	Garuda Indonesia	188	Boeing 737-800	1:35 PM	Departure	D	90 detik	145	1,5	64,43	0,51	64,94
47	Garuda Indonesia	651	Boeing 737-800	1:40 PM	Arrival	D	2 nm	147	0,83	65,26	0,48	65,74
48	Garuda Indonesia	185	Boeing 737-800	1:40 PM	Arrival	D	3 nm	147	1,22	66,48	0,48	66,96
49	Garuda Indonesia	568	Boeing 737-800	1:40 PM	Departure	D	120 detik	145	2	68,48	0,51	68,99
50	Air Asia	7532	Airbus A320	1:40 PM	Departure	C	120 detik	145	2	70,48	0,49	70,97

Berdasarkan perhitungan kapasitas *runway* eksiting menggunakan *time space analysis* dengan metode matematis dan perhitungan simulasi kapasitas, didapatkan perbandingan kapasitas *runway* untuk operasi campuran (*mixed*) antara kedua metode tersebut sebagai berikut :



**Gambar 4.1** Perbandingan kapasitas *runway* antara metode matematis dan perhitungan simulasi

Dari gambar 4.1 diketahui bahwa perhitungan simulasi kapasitas *runway time space analysis* dengan menggunakan program bantu Microsoft Excel menghasilkan lebih banyak jumlah pergerakan pesawat yang bisa beroperasi di *runway* selama satu jam, dibandingkan jumlah pergerakan yang dihasilkan pada perhitungan menggunakan metode matematis.



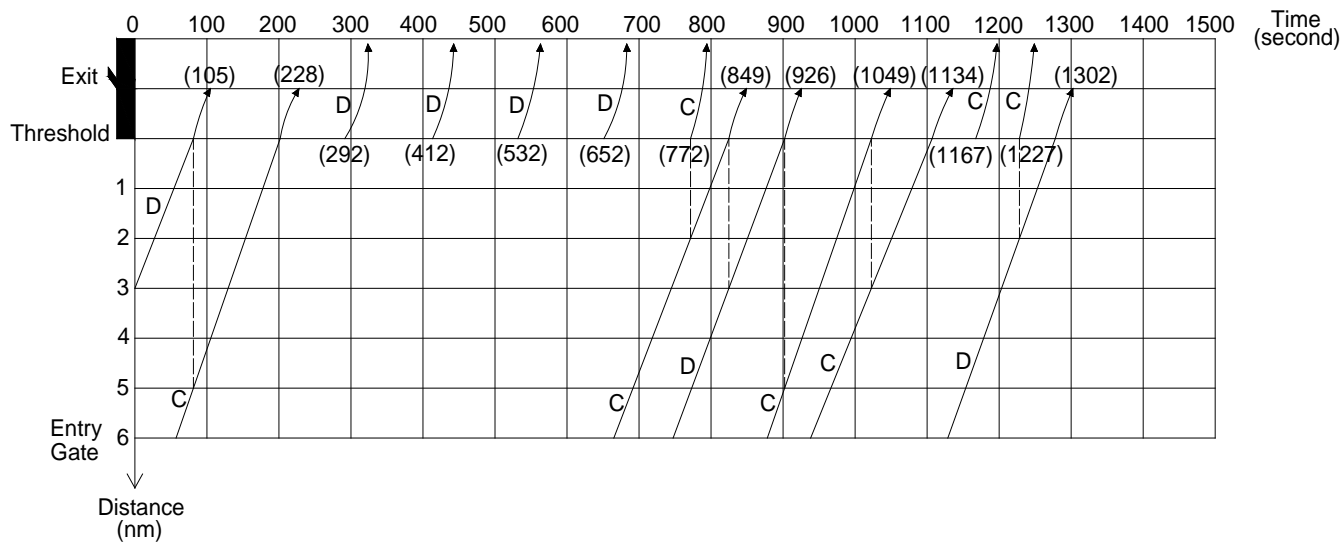
#### **4.4 Kontrol Prinsip Simulasi**

Untuk lebih memahami prinsip dari simulasi pergerakan pesawat pada runway, maka dilakukan penggambaran pergerakan pesawat dalam diagram waktu dan jarak (*Time-space diagram*).

Penggambaran ini berdasarkan pergerakan pesawat runway saat peak hour dan hanya diambil sebagian saja.

##### **4.4.1 *Time - Space Diagram Runway 1***

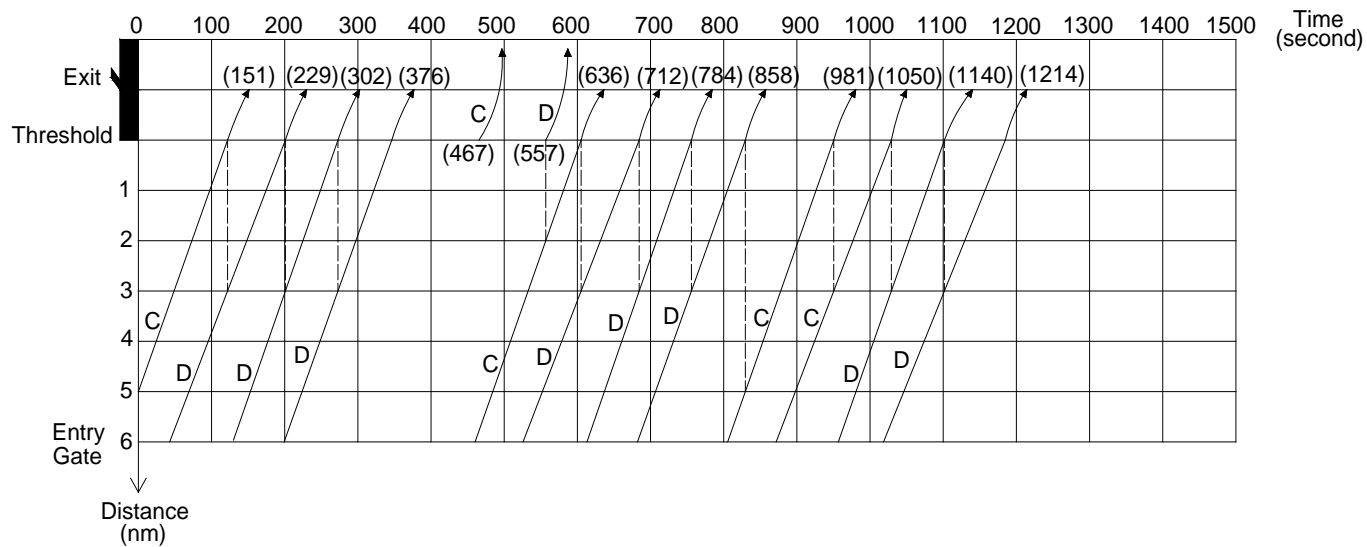
Penggambaran time-space diagram berdasarkan perhitungan simulasi kapasitas eksisting runway 1 dengan metode *time space analysis* menggunakan program Microsoft Excel. Pergerakan yang digambar hanya 15 pergerakan pada tabel 4.16 dan satuan yang waktu yang digunakan adalah detik. Time-space diagram pergerakan eksisting runway 1 ditunjukkan pada gambar 4.1 pada halaman selanjutnya.



**Gambar 4.2** *Time space diagram runway 1*

#### **4.4.2 *Time – Space Diagram Runway 2***

Penggambaran time-space diagram berdasarkan perhitungan simulasi kapasitas eksisting runway 2 dengan metode *time space analysis* menggunakan program Microsoft Excel. Pergerakan yang digambar hanya 15 pergerakan pada tabel 4.17 dan satuan yang waktu yang digunakan adalah detik. Time-space diagram pergerakan eksisting runway 2 ditunjukkan pada gambar 4.2 pada halaman selanjutnya.



**Gambar 4.3** Time space diagram runway 2

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB V DESAIN SIMULASI MODEL

Pada analisa perhitungan simulasi kapasitas runway ini akan digunakan tiga *runway* paralel tipe *independent* pada kondisi IMC (*Instrument Meteorological Condition*) untuk menemukan kapasitas runway paling maksimum.

Perhitungan simulasi ini akan dijalankan menggunakan program bantu Microsoft Excel dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Menentukan jadwal kedatangan masing-masing kategori pesawat dengan menggunakan rumus *random number* yang terdapat pada program bantu Microsoft Excel. Presentase kategori pesawat yang ada dibuat sama dengan persentase kategori pesawat pada *runway* pada bandara Soekarno-Hatta.
2. Menentukan matriks jarak pemisah minimum *arrival-arrival* untuk masing-masing kategori pesawat, *Heavy* diikuti *Heavy*, *Heavy* diikuti *Large* dan seterusnya. Dengan satuan jarak adalah nautical mile (nmi) atau detik.
3. Menentukan approach speed masing-masing kategori pesawat dengan mengacu pada data jadwal kedatangan bandara Soekarno-Hatta. Approach speed masing-masing kategori pesawat yang digunakan adalah nilai rata-rata dari pergerakan saat peak hour.
4. Mendapatkan waktu antar kedatangan dengan cara membagi jarak antar kategori pesawat dengan kecepatan masing-masing kategori pesawat.
5. Setelah didapatkan waktu antar kedatangan akan didapatkan waktu kedatangan pesawat dari akumulasi waktu kedatangan antar pesawat.
6. Menentukan ROT (*Runway Occupancy Time*) dengan cara membagi panjang landasan *runway* dengan kecepatan masing-masing kategori pesawat yang didapat dari data kelas

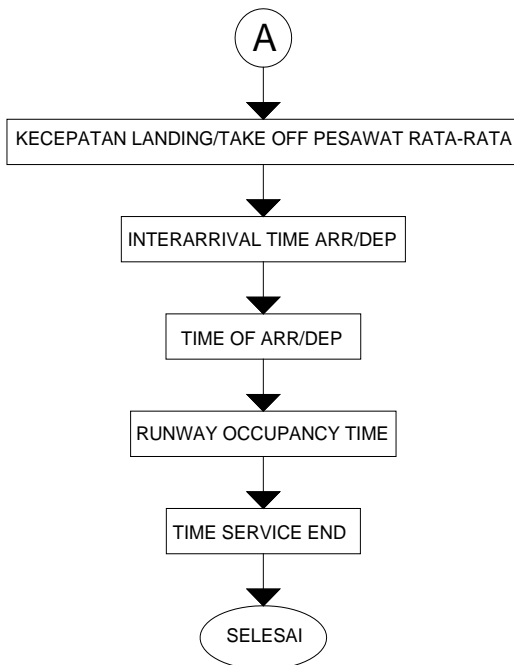
pesawat. Dari masing-masing kategori pesawat diambil nilai rata-rata dari kategori pesawat saat peak hour.

7. Dengan menjumlahkan waktu kedatangan dengan lama waktu pemakaian *runway* rata-rata maka akan didapatkan waktu akhir, yaitu waktu disaat pesawat telah mendarat dan keluar dari *runway*. setelah itu akan dijumlahkan dan diakumulasi sampai dengan waktu kurang dari / sama dengan 60 menit dan akan didapatkan jumlah pergerakan pesawat per jam.

Untuk lebih jelas, langkah-langkah pengerjaan perhitungan simulasi runway bisa dilihat pada gambar 5.1 berikut.



**Gambar 5.1** Diagram alir langkah simulasi



**Gambar 5.1** (lanjutan)

### 5.1 Peramalan *Peak Hour* pada Tahun 2020

Untuk menemukan target peak hour pada tahun 2020 maka terlebih dahulu mencari pergerakan perhari. Dari tabel 1.1 perkiraan lalu lintas pertumbuhan udara bandara CGK pada bab 1, diketahui pertumbuhan pergerakan pesawat pada tahun 2020 adalah sebesar 729.886 pergerakan/tahun. Sehingga didapat :

$$\begin{aligned}
 \text{Pergerakan perhari tahun 2020} &= \frac{729.886}{365} \\
 &= 1.999,7 \\
 &= 2000 \text{ Pergerakan/hari}
 \end{aligned}$$



Maka, diperkirakan jumlah pergerakan perhari pada tahun 2020 adalah sebesar 2000 pergerakan/hari.

Dari jumlah pergerakan perhari tahun 2020 yang didapatkan, kemudian akan dicari jumlah pergerakan pada *peak hour*. Perhitungan dilakukan dengan cara mengalikan persen pergerakan per jam pada hari Rabu tanggal 15 Juli 2015 dengan jumlah pergerakan perhari tahun 2020. Jumlah dan persentase pergerakan pada hari Rabu tanggal 15 Juli 2015 dapat dilihat Pada tabel 5.1.

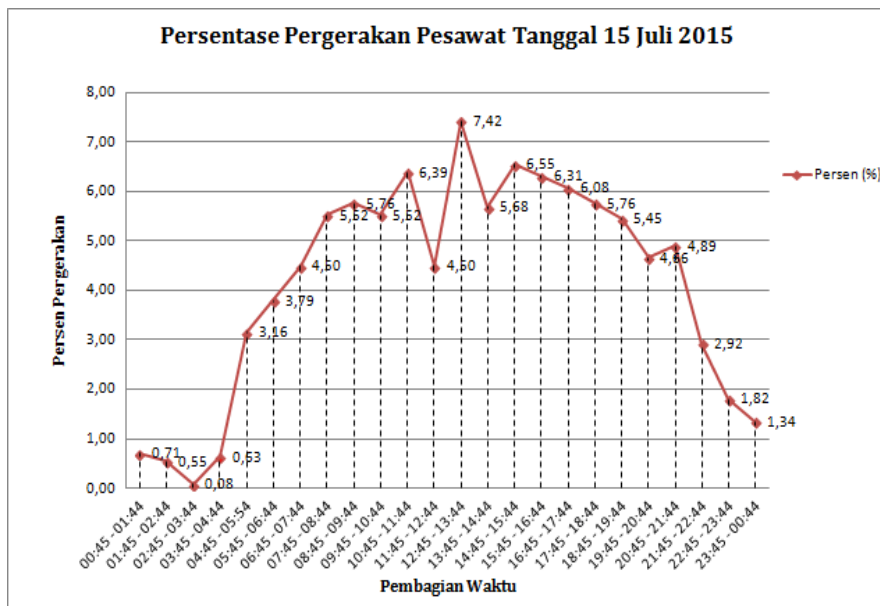
**Tabel 5.1** Jumlah dan persentase pergerakan perjam pada hari Rabu 15 Juli 2015

Rabu, 15 Juli 2015			
No.	Waktu	Jumlah	Persen (%)
1	00:45 - 01:44	9	0,71
2	01:45 - 02:44	7	0,55
3	02:45 - 03:44	1	0,08
4	03:45 - 04:44	8	0,63
5	04:45 - 05:54	40	3,16
6	05:45 - 06:44	48	3,79
7	06:45 - 07:44	57	4,50
8	07:45 - 08:44	70	5,52
9	08:45 - 09:44	73	5,76
10	09:45 - 10:44	70	5,52
11	10:45 - 11:44	81	6,39
12	11:45 - 12:44	57	4,50
13	12:45 - 13:44	94	7,42
14	13:45 - 14:44	72	5,68
15	14:45 - 15:44	83	6,55
16	15:45 - 16:44	80	6,31
17	16:45 - 17:44	77	6,08
18	17:45 - 18:44	73	5,76
19	18:45 - 19:44	69	5,45

**Tabel 5.1** (lanjutan)

Rabu, 15 Juli 2015			
No.	Waktu	Jumlah	Persen (%)
20	19:45 - 20:44	59	4,66
21	20:45 - 21:44	62	4,89
22	21:45 - 22:44	37	2,92
23	22:45 - 23:44	23	1,82
24	23:45 - 00:44	17	1,34
Total		1267	100,0

Dari tabel 5.1 dibuat grafik yang akan menunjukkan peningkatan dan penurunan persentase pergerakan pesawat tanggal 15 juli 2015 yang bisa dilihat pada gambar 5.2.

**Gambar 5.2** Grafik jumlah pergerakan perjam pada tanggal 15 Juli 2015

Berdasarkan grafik pada tanggal 15 Juli 2015, diketahui pergerakan di jam 00:45 – 01:44 sebesar 0,71% dari total 1267 pergerakan dan seterusnya. Dari jumlah persentase pergerakan pada gambar 5.1 bisa dihitung peak hour pada tahun 2020 dengan mengasumsikan bahwa pembagian pergerakan perjam sama dengan hari Rabu tanggal 15 Juli 2015. Berikut contoh perhitungan pembagian pergerakan perjam pada tahun 2020:

- Pergerakan pada jam 00:45 – 01:44 tahun 2020  
 $= (0,71 \times 2000) / 100$   
 $= 14$
- Pergerakan pada jam 01:45 – 02:44 tahun 2020  
 $= (0,55 \times 2000) / 100$   
 $= 11$

dan seterusnya dapat dilihat pada tabel 5.1 dibawah ini.

**Tabel 5.2** Jumlah pembagian pergerakan perjam tahun 2020

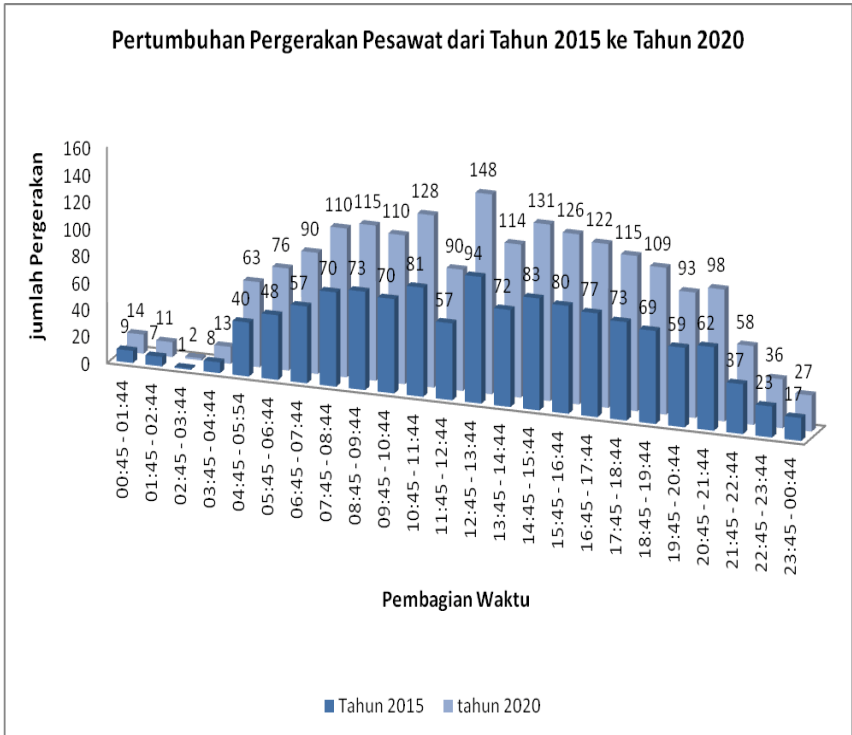
No.	Waktu	Jumlah pergerakan pesawat 2020
1	00:45 - 01:44	14
2	01:45 - 02:44	11
3	02:45 - 03:44	2
4	03:45 - 04:44	13
5	04:45 - 05:54	63
6	05:45 - 06:44	76
7	06:45 - 07:44	90
8	07:45 - 08:44	110
9	08:45 - 09:44	116
10	09:45 - 10:44	110
11	10:45 - 11:44	128
12	11:45 - 12:44	90

**Tabel 5.2** (lanjutan)

No.	Waktu	Jumlah pergerakan pesawat 2020
13	12:45 - 13:44	148
14	13:45 - 14:44	114
15	14:45 - 15:44	131
16	15:45 - 16:44	126
17	16:45 - 17:44	122
18	17:45 - 18:44	115
19	18:45 - 19:44	109
20	19:45 - 20:44	93
21	20:45 - 21:44	98
22	21:45 - 22:44	58
23	22:45 - 23:44	36
24	23:45 - 00:44	27
Total		2000

Kemudian dari perhitungan tersebut diambil satu jam yang menghasilkan jumlah pergerakan terbesar. Berdasarkan tabel 5.2 didapat jumlah pergerakan terbesar adalah pada pukul 12:45 PM – 1:44 PM dengan total 148 pergerakan pesawat. Maka *peak hour* pada tahun 2020 adalah sebesar 148 pergerakan.

Berdasarkan perhitungan diketahui bahwa rata-rata pergerakan pesawat perjam adalah 84 pergerakan. Terdapat peningkatan pergerakan pesawat dari tahun 2015 ke tahun 2020. Tahun 2015 terdapat 94 pergerakan sedangkan tahun 2020 terdapat 148 pergerakan, sehingga terdapat 54 kali penambahan pergerakan pesawat di runway bandara Soekarno-Hatta pada tahun 2020 dari tahun 2015. Jumlah pergerakan tersebut, bisa dilihat pada gambar 5.3 berikut ini.



**Gambar 5.3** Pertumbuhan pergerakan pesawat di bandara Soekarno-Hatta tahun 2015 dan tahun 2020

## 5.2 Simulasi Kapasitas *Runway* Tahun 2020

Pada dasarnya perhitungan yang dilakukan sama dengan perhitungan kapasitas *runway* eksisting dengan metode *time space analysis* perhitungan simulasi menggunakan program bantu Microsoft Excel pada bab IV sebelum ini. Perhitungan kapasitas *runway* untuk simulasi hanya dilakukan untuk opsai campuran (*mixed*). Kecepatan pesawat dan ROT pesawat diambil dari nilai rata-rata pergerakan pesawat pada peak hour tanggal 15 Juli 2015, yang dapat dilihat pada tabel 5.3.

**Tabel 5.3** Kecepatan dan ROT rata-rata pesawat

Tipe Pesawat	Kecepatan Landing (knots)	Kecepatan Take off (Knot)	ROT (Menit)	
			Arrival	Departure
C	135	143	0,35	0,45
D	149	148	0,36	0,51

Untuk persentase pembagian kategori pesawat diperoleh berdasarkan peak hour tanggal 15 Juli 2015 yang bisa dilihat pada tabel 5.4 berikut :

**Tabel 5.4** Pembagian kategori pesawat

Kategori Pesawat	Jumlah Pergerakan	Persentase (%)
C	42	45
D	52	55
Total	94	100

Sedangkan untuk presentase kedatangan dan keberangkatan setiap runway dibagi berdasarkan penggunaan terminal. Runway 1 digunakan untuk terminal, runway 2 digunakan untuk terminal 2 dan runway 3 untuk terminal tiga. Berikut presentase kedatangan dan keberangkatan untuk perhitungan simulasi runway yang ditunjukkan pada tabel 5.5.

**Tabel 5.5** Persentase kedatangan/keberangkatan untuk setiap *runway*

Kedatangan/ keberangkatan	Total		Persentase (%)	
	Arrival	Departure	Arrival	Departure
Terminal 1	18	26	41	59
Terminal 2	27	13	67,5	32,5
Terminal 3	6	4	60	40

Jarak pemisah minimum untuk kedatangan/keberangkatan bisa dilihat pada tabel 4.13 Rekap pemisah minimum antar pesawat, yang ditunjukkan pada bab IV.

Dengan mengikuti langkah-langkah yang sudah disebutkan diawal, maka dilakukan proses perhitungan menggunakan program bantu *Microsoft Excel* untuk mencari kapasitas tiga *runway parallel* pada operasi campuran (*mixed*).

### **5.2.1 Simulasi Runway 1 Tahun 2020**

Diketahui presentase kategori pesawat ditentukan dari jadwal kedatangan dan keberangkatan bandara Soekarno-Hatta. Persentase ditunjukkan pada tabel 5.4, untuk kategori C: 45% dan kategori D: 55%. Dan dengan memakai rumus random number pada program bantu Microsoft Excel didapatkan kategori pesawat. Diasumsikan jika random number yang keluar adalah kurang dari 0,45 maka termasuk kategori C, dan jika lebih dari 0,45 maka termasuk kategori D. Batasan ini mengacu pada komposisi kedatangan dan keberangkatan pesawat untuk masing-masing kategori.

Sedangkan untuk pembagian arrival dan departure, persentase untuk *runway 1* bisa dilihat pada tabel 5.5, untuk arrival sebesar 41% dan departure sebesar 59%. Jika random number yang keluar kurang dari 0,41 maka diasumsikan arrival dan jika lebih dari 0,41 maka departure.

Perhitungan simulasi yang dilakukan sama seperti contoh perhitungan pada bab IV. Hasil dari perhitungan simulasi kapasitas *runway 1* metode *time space analysis* menggunakan program Microsoft Excel dapat dilihat pada tabel 5.6 berikut :

**Tabel 5.6** Perhitungan simulasi kapasitas *runway* 1 tahun 2020

No.	Random Number Kategori Pesawat	Random Number Arr/Dep	Kategori Pesawat - Arr/Dep	Jarak pemisah minimum Arr/Dep	Take off/ landing Speed (knot)	Interarrival Time Arr/Dep (menit)	Time off Arr/Dep (menit)	ROT Arr/Dep (menit)	Time Service Ends (menit)
1	0,85	0,82	D Departure	- -	148				
2	0,08	0,55	C Departure	120 detik	143	2	2	0,45	2,45
3	0,46	0,07	D Arrival	2 nm	149	0,84	2,84	0,36	3,20
4	0,44	0,11	C Arrival	5 nm	135	2,01	4,85	0,35	5,20
5	0,67	0,73	D Departure	90 detik	148	1,5	6,35	0,51	6,86
6	0,56	0,49	D Departure	120 detik	148	2	8,35	0,51	8,86
7	0,22	0,31	C Arrival	2 nm	135	0,81	9,16	0,35	9,51
8	0,95	0,40	D Arrival	3 nm	149	1,33	10,50	0,36	10,86
9	0,80	0,07	D Arrival	3 nm	149	1,21	11,70	0,36	12,06
10	0,06	0,41	C Departure	120 detik	143	2	13,70	0,45	14,15
11	0,56	0,32	D Arrival	2 nm	149	0,84	14,54	0,36	14,90
12	0,86	0,76	D Departure	120 detik	148	2	16,54	0,51	17,05
13	0,43	0,02	C Arrival	2 nm	135	0,81	17,35	0,35	17,70
14	0,60	0,86	D Departure	90 detik	148	1,5	18,85	0,51	19,36
15	0,88	0,27	D Arrival	2 nm	149	0,81	19,67	0,36	20,03
16	0,42	0,64	C Departure	120 detik	143	2	21,67	0,45	22,12
17	0,75	0,49	D Departure	90 detik	148	1,5	23,17	0,51	23,68
18	0,26	0,47	C Departure	120 detik	143	2	25,17	0,45	25,62
19	0,50	0,42	D Departure	90 detik	148	1,5	26,67	0,51	27,18
20	0,12	0,49	C Departure	120 detik	143	2	28,67	0,45	29,12
21	0,15	0,09	C Arrival	2 nm	135	0,84	29,50	0,35	29,85
22	0,65	0,01	D Arrival	3 nm	149	1,33	30,84	0,36	31,20
23	0,83	0,17	D Arrival	3 nm	149	1,21	32,05	0,36	32,41
24	0,50	0,30	D Arrival	3 nm	149	1,21	33,25	0,36	33,61
25	0,88	0,57	D Departure	120 detik	148	2	35,25	0,51	35,76



**Tabel 5.6** (Lanjutan)

No.	Random Number Kategori Pesawat	Random Number Arr/Dep	Kategori Pesawat - Arr/Dep		Jarak pemisah minimum Arr/Dep		Take off/ landing Speed (knot)	Interarrival Time Arr/Dep (menit)	Time off Arr/Dep (menit)	ROT Arr/Dep (menit)	Time Service Ends (menit)
26	0,76	0,69	D	Departure	120	detik	148	2	37,25	0,51	37,76
27	0,76	0,17	D	Arrival	2	nm	149	0,81	38,06	0,36	38,42
28	0,81	0,03	D	Arrival	3	nm	149	1,21	39,27	0,36	39,63
29	0,72	0,45	D	Departure	120	detik	148	2	41,27	0,51	41,78
30	0,75	0,91	D	Departure	120	detik	148	2	43,27	0,51	43,78
31	0,25	0,85	C	Departure	120	detik	143	2	45,27	0,45	45,72
32	0,51	0,85	D	Departure	90	detik	148	1,5	46,77	0,51	47,28
33	0,84	0,69	D	Departure	120	detik	148	2	48,77	0,51	49,28
34	0,89	0,11	D	Arrival	2	nm	149	0,81	49,58	0,36	49,94
35	0,35	0,89	C	Departure	120	detik	143	2	51,58	0,45	52,03
36	0,40	0,60	C	Departure	60	detik	143	1	52,58	0,45	53,03
37	0,62	0,48	D	Departure	90	detik	148	1,5	54,08	0,51	54,59
38	0,71	0,49	D	Departure	120	detik	148	2	56,08	0,51	56,59
39	0,57	0,93	D	Departure	120	detik	148	2	58,08	0,51	58,59
40	0,71	0,20	D	Arrival	2	nm	149	0,81	58,89	0,36	59,25

Dari perhitungan simulasi untuk mendapatkan kapasitas *runway* 1 tahun 2020 menggunakan metode *time space analysis* yang ditunjukkan pada tabel 5.6, didapatkan pergerakan pesawat sebanyak 40 kali selama 59,25 menit. Maka kapasitas *runway* untuk operasi campuran (*mixed*) pada *runway* 1 adalah sebesar 40 pergerakan per jam.

### 5.2.2 Simulasi *Runway* 2 Tahun 2020

Diketahui presentase kategori pesawat ditentukan dari jadwal kedatangan dan keberangkatan bandara Soekarno-Hatta. Persentase ditunjukkan pada tabel 5.4, untuk kategori C: 45% dan

kategori D: 55%. Dan dengan memakai rumus random number pada program bantu Microsoft Excel didapatkan kategori pesawat. Diasumsikan jika random number yang keluar adalah kurang dari 0,45 maka termasuk kategori C, dan jika lebih dari 0,45 maka termasuk kategori D. Batasan ini mengacu pada komposisi kedatangan dan keberangkatan pesawat untuk masing-masing kategori.

Sedangkan untuk pembagian arrival dan departure, persentase untuk *runway* 2 bisa dilihat pada tabel 5.5, untuk arrival sebesar 67,5% dan departure sebesar 32,5%. Jika random number yang keluar kurang dari 0,325 maka diasumsikan departure dan jika lebih dari 0,325 maka arrival.

Perhitungan simulasi yang dilakukan sama seperti contoh perhitungan pada bab IV. Hasil dari perhitungan simulasi kapasitas *runway* 2 metode *time space analysis* menggunakan program Microsoft Excel dapat dilihat pada tabel 5.7 berikut :

**Tabel 5.7** Perhitungan simulasi kapasitas *runway* 2 tahun 2020

No.	Random Number Kategori Pesawat	Random Number Arr/Dep	Kategori Pesawat - Arr/Dep	Jarak pemisah minimum Arr/Dep	Take off/ landing Speed (knot)	Interarrival Time Arr/Dep (menit)	Time off Arr/Dep (menit)	ROT Arr/Dep (menit)	Time Service Ends (menit)	
1	0,87	0,57	D Arrival	-	-	149				
2	0,32	0,84	C Arrival	5	nm	135	2,01	2,013	0,35	2,36
3	0,77	0,21	D Departure	90	detik	148	1,5	3,513	0,51	4,02
4	0,07	0,53	C Arrival	2	nm	135	0,81	4,324	0,35	4,67
5	0,26	0,79	C Arrival	3	nm	135	1,33	5,658	0,35	6,01
6	0,30	0,28	C Departure	60	detik	143	1	6,658	0,45	7,11
7	0,66	0,59	D Arrival	2	nm	149	0,84	7,497	0,36	7,86
8	0,75	0,16	D Departure	120	detik	148	2	9,497	0,51	10,01
9	0,62	0,63	D Arrival	2	nm	149	0,81	10,308	0,36	10,67
10	0,79	0,19	D Departure	120	detik	148	2	12,308	0,51	12,82
11	0,91	0,33	D Arrival	2	nm	149	0,81	13,118	0,36	13,48
12	0,18	0,63	C Arrival	5	nm	135	2,01	15,132	0,35	15,48

**Tabel 5.7 (Lanjutan)**

No.	Random Number Kategori Pesawat	Random Number Arr/Dep	Kategori Pesawat - Arr/Dep	Jarak pemisah minimum Arr/Dep	Take off/ landing Speed (knot)	Interarrival Time Arr/Dep (menit)	Time off Arr/Dep (menit)	ROT Arr/Dep (menit)	Time Service Ends (menit)
13	0,47	0,35	D Arrival	3 nm	149	1,33	16,465	0,36	16,83
14	0,74	0,29	D Departure	120 detik	148	2	18,465	0,51	18,98
15	0,90	0,14	D Departure	120 detik	148	2	20,465	0,51	20,98
16	0,93	0,52	D Arrival	2 nm	149	0,81	21,276	0,36	21,64
17	0,22	0,48	C Arrival	5 nm	135	2,01	23,289	0,35	23,64
18	0,67	0,29	D Departure	90 detik	148	1,5	24,789	0,51	25,30
19	0,60	0,09	D Departure	120 detik	148	2	26,789	0,51	27,30
20	0,81	0,85	D Arrival	2 nm	149	0,81	27,600	0,36	27,96
21	0,33	0,15	C Departure	120 detik	143	2	29,600	0,45	30,05
22	0,90	0,23	D Departure	90 detik	148	1,5	31,100	0,51	31,61
23	0,93	0,47	D Arrival	2 nm	149	0,81	31,911	0,36	32,27
24	0,18	0,79	C Arrival	5 nm	135	2,01	33,924	0,35	34,27
25	0,52	0,12	D Departure	90 detik	148	1,5	35,424	0,51	35,93
26	0,55	0,89	D Arrival	2 nm	149	0,81	36,235	0,36	36,60
27	0,57	0,49	D Arrival	3 nm	149	1,21	37,443	0,36	37,80
28	0,87	0,91	D Arrival	3 nm	149	1,21	38,651	0,36	39,01
29	0,24	0,61	C Arrival	5 nm	135	2,01	40,665	0,35	41,01
30	0,65	0,37	D Arrival	3 nm	149	1,33	41,998	0,36	42,36
31	0,45	0,28	D Departure	120 detik	148	2	43,998	0,51	44,51
32	0,35	0,90	C Arrival	2 nm	135	0,81	44,809	0,35	45,16
33	0,71	0,93	D Arrival	3 nm	149	1,33	46,142	0,36	46,50
34	0,17	0,12	C Departure	120 detik	143	2	48,142	0,45	48,59
35	0,38	0,44	C Arrival	2 nm	135	0,84	48,981	0,35	49,33
36	0,96	0,20	D Departure	90 detik	148	1,5	50,481	0,51	50,99
37	0,55	0,36	D Arrival	2 nm	149	0,81	51,292	0,36	51,65

**Tabel 5.7** (Lanjutan)

No.	Random Number Kategori Pesawat	Random Number Arr/Dep	Kategori Pesawat - Arr/Dep		Jarak pemisah minimum Arr/Dep		Take off/ landing Speed (knot)	Interarrival Time Arr/Dep (menit)	Time off Arr/Dep (menit)	ROT Arr/Dep (menit)	Time Service Ends (menit)
38	0,58	0,71	D	Arrival	3	nm	149	1,21	52,500	0,36	52,86
39	0,86	0,77	D	Arrival	3	nm	149	1,21	53,708	0,36	54,07
40	0,98	0,46	D	Arrival	3	nm	149	1,21	54,916	0,36	55,28
41	0,96	0,89	D	Arrival	3	nm	149	1,21	56,124	0,36	56,48
42	0,33	0,91	C	Arrival	5	nm	135	2,01	58,138	0,35	58,49
43	0,71	0,62	D	Arrival	3	nm	149	1,33	59,471	0,36	59,83

Dari perhitungan simulasi untuk mendapatkan kapasitas *runway* 2 tahun 2020 menggunakan metode *time space analysis* yang ditunjukkan pada tabel 5.7, didapatkan pergerakan pesawat sebanyak 43 kali selama 59,83 menit. Maka kapasitas *runway* untuk operasi campuran (*mixed*) pada *runway* 2 adalah sebesar 43 pergerakan per jam.

### 5.2.3 Simulasi Runway 3 Tahun 2020

Diketahui presentase kategori pesawat ditentukan dari jadwal kedatangan dan keberangkatan bandara Soekarno-Hatta. Persentase ditunjukkan pada tabel 5.4, untuk kategori C: 45% dan kategori D: 55%. Dan dengan memakai rumus random number pada program bantu Microsoft Excel didapatkan kategori pesawat. Diasumsikan jika random number yang keluar adalah kurang dari 0,45 maka termasuk kategori C, dan jika lebih dari 0,45 maka termasuk kategori D. Batasan ini mengacu pada komposisi kedatangan dan keberangkatan pesawat untuk masing-masing kategori.

Sedangkan untuk pembagian arrival dan departure, persentase untuk *runway* 3 bisa dilihat pada tabel 5.5, untuk arrival sebesar 60% dan departure sebesar 40%. Jika random

number yang keluar kurang dari 0,40 maka diasumsikan departure dan jika lebih dari 0,40 maka arrival.

Perhitungan simulasi yang dilakukan sama seperti contoh perhitungan pada bab IV. Hasil dari perhitungan simulasi kapasitas *runway* 3 metode *time space analysis* menggunakan program Microsoft Excel dapat dilihat pada tabel 5.8 berikut :

**Tabel 5.8** Perhitungan simulasi kapasitas *runway* 3 tahun 2020

No.	Random Number Kategori Pesawat	Random Number Arr/Dep	Kategori Pesawat - Arr/Dep	Jarak pemisah minimum Arr/Dep	Take off/ landing Speed	Interarrival Time Arr/Dep (menit)	Time off Arr/Dep (menit)	ROT Arr/Dep (menit)	Time Service Ends (menit)
1	0,88	0,96	D Arrival	- -	149				
2	0,27	0,72	C Arrival	5 nm	135	2,01	2,01	0,35	2,36
3	0,73	0,28	D Departure	90 detik	148	1,5	3,51	0,51	4,02
4	0,55	0,16	D Departure	120 detik	148	2	5,51	0,51	6,02
5	0,73	0,67	D Arrival	2 nm	149	0,81	6,32	0,36	6,68
6	0,62	0,27	D Departure	120 detik	148	2	8,32	0,51	8,83
7	0,40	0,30	C Departure	120 detik	143	2	10,32	0,45	10,77
8	0,31	0,24	C Departure	60 detik	143	1	11,32	0,45	11,77
9	0,15	0,60	C Arrival	2 nm	135	0,84	12,16	0,35	12,51
10	0,16	0,74	C Arrival	3 nm	135	1,33	13,50	0,35	13,85
11	0,10	0,33	C Departure	60 detik	143	1	14,50	0,45	14,95
12	0,84	0,33	D Departure	90 detik	148	1,5	16,00	0,51	16,51
13	0,91	0,07	D Departure	120 detik	148	2	18,00	0,51	18,51
14	0,39	0,22	C Departure	120 detik	143	2	20,00	0,45	20,45
15	0,51	0,08	D Departure	90 detik	148	1,5	21,50	0,51	22,01
16	0,78	0,60	D Arrival	2 nm	149	0,81	22,31	0,36	22,67
17	0,64	0,16	D Departure	120 detik	148	2	24,31	0,51	24,82
18	0,33	0,28	C Departure	120 detik	143	2	26,31	0,45	26,76
19	0,64	0,85	D Arrival	2 nm	149	0,84	27,15	0,36	27,51

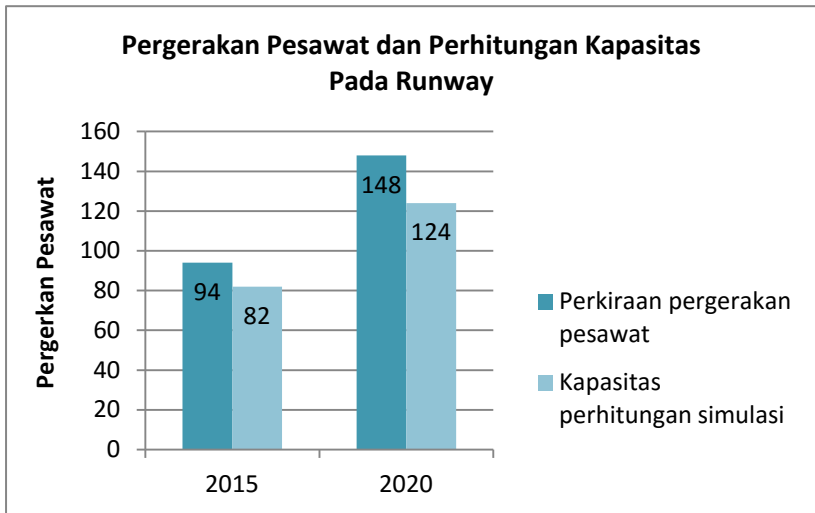
**Tabel 5.8 (Lanjutan)**

No.	Random Number Kategori Pesawat	Random Number Arr/Dep	Kategori Pesawat - Arr/Dep	Jarak pemisah minimum Arr/Dep	Take off/ landing Speed	Interarrival Time Arr/Dep (menit)	Time off Arr/Dep (menit)	ROT Arr/Dep (menit)	Time Service Ends (menit)
20	0,91	0,51	D Arrival	3 nm	149	1,21	28,35	0,36	28,71
21	0,21	0,32	C Departure	120 detik	143	2	30,35	0,45	30,80
22	0,09	0,58	C Arrival	2 nm	135	0,84	31,19	0,36	31,55
23	0,48	0,51	D Arrival	3 nm	149	1,33	32,53	0,36	32,89
24	0,89	0,30	D Departure	120 detik	148	2	34,53	0,51	35,04
25	0,03	0,45	C Arrival	2 nm	135	0,81	35,34	0,35	35,69
26	0,75	0,84	D Arrival	3 nm	149	1,33	36,67	0,36	37,03
27	0,19	0,42	C Arrival	5 nm	135	2,01	38,68	0,35	39,03
28	0,96	0,99	D Arrival	3 nm	149	1,33	40,02	0,36	40,38
29	0,93	0,98	D Arrival	3 nm	149	1,21	41,23	0,36	41,59
30	0,95	0,80	D Arrival	3 nm	149	1,21	42,43	0,36	42,79
31	0,70	0,16	D Departure	120 detik	148	2	44,43	0,51	44,94
32	0,52	0,09	D Departure	120 detik	148	2	46,43	0,51	46,94
33	0,32	0,27	C Departure	120 detik	143	2	48,43	0,45	48,88
34	0,80	0,87	D Arrival	2 nm	149	0,84	49,27	0,36	49,63
35	0,59	0,54	D Arrival	3 nm	149	1,21	50,48	0,36	50,84
36	0,06	0,24	C Departure	120 detik	143	2	52,48	0,45	52,93
37	0,00	1,00	C Arrival	2 nm	135	0,84	53,32	0,35	53,67
38	0,11	0,81	C Arrival	3 nm	135	1,33	54,65	0,35	55,00
39	0,71	0,37	D Departure	120 detik	148	2	56,65	0,51	57,16
40	0,88	0,78	D Arrival	2 nm	149	0,81	57,46	0,36	57,82
41	0,74	0,09	D Departure	120 detik	148	2	59,46	0,51	59,97

Dari perhitungan simulasi untuk mendapatkan kapasitas *runway* 3 tahun 2020 menggunakan metode *time space analysis* yang ditunjukkan pada tabel 5.8, didapatkan pergerakan pesawat sebanyak 41 kali selama 59,97 menit. Maka kapasitas *runway* untuk operasi campuran (*mixed*) pada *runway* 3 adalah sebesar 41 pergerakan per jam.

Berdasarkan penjumlahan dari perhitungan simulasi kapasitas tiga *runway* paralel tahun 2020, maka didapatkan hasil sebesar  $40 + 43 + 41 = 124$  pergerakan pesawat per jam untuk ketiga *runway* yang tersebut.

Hasil perhitungan kapasitas untuk tahun 2015 dan 2020 bisa dilihat pada gambar dibawah ini.



**Gambar 5.4** Perbandingan pergerakan pesawat dan kapasitasnya

Untuk memenuhi target pergerakan bisa dilakukan beberapa pembenahan di bandara Soekarno-Hatta, seperti :

1. Mengubah pengoperasian *runway* dari operasi campuran (*mixed*) menjadi operasi kedatangan saja dan operasi

kedatangan saja. Dicari operasi yang optimal untuk mendapatkan pergerakan pesawat yang lebih cepat.

2. Memperketat pengawasan regulasi / peraturan-peraturan mengenai jadwal penerbangan sehingga tidak terjadi penundaan (delay) yang berkelanjutan jika ada pesawat yang delay.
3. Menghukum atau memberikan penalti kepada maskapai-maskapai yang sering menyebabkan delay sehingga dapat memberikan efek jera.
4. Mengurangi beberapa rute penerbangan atau mengalokasikan penerbangan kebandara lain.



*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB VI KESIMPULAN**

### **6.1 Kesimpulan**

Tugas akhir ini bertujuan untuk mendapatkan jumlah pergerakan pesawat yang bisa dilayani oleh tiga *runway* paralel di bandara Soekarno-Hatta pada tahun 2020.

Dari hasil analisis perhitungan dalam tugas akhir ini, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Karakteristik pola operasional *runway* eksisting :
  - a. Berdasarkan jadwal kedatangan dan keberangkatan pada *peak hour* diketahui persentase komposisi kategori pesawat yang digunakan adalah sebesar C : 45% dan D : 55%
  - b. Perbandingan persentase kedatangan dan keberangkatan pada *runway* 1 adalah kedatangan sebesar 41% dan keberangkatan sebesar 59%.
  - c. Perbandingan persentase kedatangan dan keberangkatan pada *runway* 2 adalah kedatangan sebesar 66% dan keberangkatan sebesar 34%.
2. Perhitungan matematis untuk kapasitas *runway* eksisting :
  - a. Perhitungan menggunakan metode matematis:
    - *Runway* 1  
Untuk kedatangan saja (*arrival only*) didapatkan kapasitas *runway* sebesar 42 pergerakan per jam, untuk kedatangan saja (*departure only*) didapatkan kapasitas *runway* sebesar 40 pergerakan per jam dan untuk operasi campuran (*mixed*) didapatkan kapasitas *runway* sebesar 39 pergerakan per jam.
    - *Runway* 2  
Untuk kedatangan saja (*arrival only*) didapatkan kapasitas *runway* sebesar 40 pergerakan per jam, untuk kedatangan saja (*departure only*) didapatkan kapasitas

*runway* sebesar 32 pergerakan per jam dan untuk operasi campuran (*mixed*) didapatkan kapasitas *runway* sebesar 39 pergerakan per jam.

- b. Perhitungan simulasi menggunakan program bantu Microsoft Excel untuk kapasitas eksisting :

- *Runway 1*

Kapasitas *runway 1* yang dilakukan menggunakan operasi campuran didapatkan sebesar 42 pergerakan per jam.

- *Runway 2*

Kapasitas *runway 2* yang dilakukan menggunakan operasi campuran didapatkan sebesar 42 pergerakan per jam.

Hasil dari penjumlahan pergerakan *runway 2* paralel eksisting didapat pergerakan campuran (*mixed*) sebesar 84 pergerakan pesawat per jam.

3. Perhitungan simulasi kapasitas *runway* tiga paralel tahun 2020:

a. *Runway 1*

Simulasi kapasitas *runway 1* dengan distribusi keberangkatan 59% dan kedatangan 41% didapatkan hasil sebesar 40 pergerakan per jam

b. *Runway 2*

Simulasi kapasitas *runway 2* dengan distribusi keberangkatan 32,5% dan kedatangan 67,5% didapatkan hasil sebesar 43 pergerakan per jam

c. *Runway 3*

Simulasi kapasitas *runway 2* dengan distribusi keberangkatan 40% dan kedatangan 60% didapatkan hasil sebesar 41 pergerakan per jam

Hasil dari penjumlahan pergerakan tiga *runway* paralel diketahui kapasitas runway operasi campuran (*mixed*) adalah 124 pergerakan pesawat per jam.

Sehingga dari pernyataan diatas diketahui terjadi keterlambatan, yang bisa dilihat sebagai berikut :

- Pada kondisi eksisting tahun 2015 :  
*Peak hour* yang didapat untuk kondisi eksisting sebesar 94 pergerakan, sedangkan pada perhitungan simulasi metode *time space analysis* pergerakan yang bisa dilayani sebesar 84 pergerakan per jam. Maka, diketahui terdapat keterlambatan (*delay*) sebanyak 10 pergerakan.
- Perkiraan Kondisi pada tahun 2020 :  
 Perkiraan *Peak hour* yang didapat untuk tahun 2020 sebesar 148 pergerakan, sedangkan pada perhitungan simulasi menggunakan metode *time space analysis* pergerakan yang bisa dilayani sebesar 124 pergerakan per jam. Maka, diketahui terdapat keterlambatan (*delay*) sebanyak 24 pergerakan.

Berdasarkan hasil diatas, target pergerakan *runway* tiga paralel pada tahun 2020 tidak bisa dicapai karena adanya pergerakan pesawat yang tidak bisa dilayani sehingga menyebabkan keterlambatan (*delay*).

## 6.2 Saran

Keterbatasan data dan waktu yang ada menjadikan pengerjaan tugas akhir ini tidak maksimal. Pada kesimpulannya diperkirakan terjadi keterlambatan (*delay*) pada tahun 2020. Tugas akhir ini masih bisa dikembangkan lagi dengan cara sebagai berikut :

1. Pembagian persentase kategori pesawat masih bisa dirubah untuk mendapatkan kapasitas yang lebih besar.
2. Masih bisa dikembangkan model pengoperasian *runway* yang lebih bervariasi, tidak hanya menggunakan operasi campuran (*mixed*) pada setiap *runway*.

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR PUSTAKA

- Hasan, M. Iqbal., 2002. **Pokok-Pokok Materi Pengambilan Keputusan**. Jakarta. Ghalia Indonesia.
- Horonjeff, Robert., Francis Mckelvey. 1994. *Planning And Design Airport*. 2010. McGraw Hill.
- Pignataro, L. J., 1973. *Traffic Engineering. United State Of America*. McGraw Hill Companies.
- Rafi, Salahudin. 2014. **PPT Kesiapan Infrastruktur Bandara Dalam Menyongsong ASEAN Open Skies 2015**. Civil Engineering National Seminar.
- Sandhyavitri, Ari., Hendra Taufik. 2005. **Teknik Lapangan Terbang 1 (Teori Dasar)**. Pekanbaru : UR.
- Susetyo, Arief., 2012. **Studi dan Perencanaan Penambahan Runway di Bandara Soekarno-Hatta**. Surabaya : ITS.
- Wilogo, Satrio Rekso. 2014. **Simulasi Penentuan Jumlah dan Komposisi pesawat maksimum pada dua Parallel Runway**. Surabaya : ITS.
- URL:<http://www.contentzone.eurocontrol.int>
- URL:<http://www.flightstats.com>

## **BIODATA PENULIS**



Penulis dilahirkan di Bengkalis pada tanggal 3 Januari 1993. Merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu : SD Negeri 080 Bengkalis. Kemudian melanjutkan pendidikan di SMP Negeri 03 Bengkalis dan selanjutnya di SMA Negeri 01 Bengkalis, Riau. Setelah lulus pendidikan SMA pada tahun 2010 penulis diterima di Diploma Teknik Sipil Universitas Gadjah Mada. Pada tahun 2014 penulis melanjutkan pendidikan Program Sarjana Lintas Jalur ITS dan terdaftar dengan NRP : 3113.106.006. Alamat email : [tengkuannisa@gmail.com](mailto:tengkuannisa@gmail.com)