



TUGAS AKHIR - RC18-4803

**STUDI KINERJA *RUNWAY 3* DAN PENGARUH ADANYA
CROSSING TAXIWAY TERHADAP KAPASITAS *RUNWAY*
2 DI BANDARA INTERNASIONAL SOEKARNO-HATTA**

MOKHAMAD BAGUS INDRAWAN
NRP. 0311164000017

Dosen Pembimbing :
Ir. Ervina Ahyudanari, ME, Ph.D

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2020



TUGAS AKHIR - RC18-4803

**STUDI KINERJA *RUNWAY* 3 DAN PENGARUH ADANYA
CROSSING TAXIWAY TERHADAP KAPASITAS *RUNWAY*
2 DI BANDARA INTERNASIONAL SOEKARNO-HATTA**

MOKHAMAD BAGUS INDRAWAN
NRP. 0311164000017

Dosen Pembimbing :
Ir. Ervina Ahyudanari, ME, Ph.D

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
Surabaya
2020



FINAL PROJECT - RC18-4803

**RUNWAY 3 PERFORMANCE STUDY AND THE EFFECT
OF CROSSING TAXIWAY ON RUNWAY 2 CAPACITY IN
SOEKARNO-HATTA INTERNATIONAL AIRPORT**

MOKHAMAD BAGUS INDRAWAN
NRP. 0311164000017

Supervisor :
Ir. Ervina Ahyudanari, ME, Ph.D

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
Faculty of Civil, Planning, and Geo-Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
Surabaya
2020

**STUDI KINERJA RUNWAY 3 DAN PENGARUH ADANYA
CROSSING TAXIWAY TERHADAP KAPASITAS RUNWAY
2 DI BANDARA INTERNASIONAL SOEKARNO-HATTA**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

MOKHAMAD BAGUS INDRAWAN
NRP 0311164000017

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

1. Ir. Ervina Ahyudin, M.Eng., Ph.D. (.....)



SURABAYA, JULI 2020

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

STUDI KINERJA *RUNWAY 3* DAN PENGARUH ADANYA *CROSSING TAXIWAY* TERHADAP KAPASITAS *RUNWAY 2* DI BANDARA INTERNASIONAL SOEKARNO-HATTA

Nama Mahasiswa : Mokhamad Bagus Indrawan
NRP : 0311164000017
Departemen : Teknik Sipil FTSPK ITS
Dosen Konsultasi : Ir. Ervina Ahyudanari, ME, Ph.D

ABSTRAK

Salah satu bandara dengan penerbangan terpadat yang ada di Indonesia adalah Bandara Soekarno-Hatta yang berada di Tangerang, Banten. Adanya peningkatan jumlah penumpang mengakibatkan pergerakan pesawat juga semakin meningkat sehingga diperlukan kapasitas runway yang lebih besar untuk menghindari tundaan pergerakan yang dapat terjadi.

Bandara Internasional Soekarno-Hatta membangun runway baru sebagai runway ke-3 dari dua runway paralel yang sudah ada. Menurut PT. Angkasa Pura II adanya runway ke-3 dapat meningkatkan kapasitas pergerakan pesawat sebanyak 114 hingga 120 pergerakan setiap jam. Dibangun juga East Cross Taxiway berada di sebelah sisi timur bandara untuk meningkatkan kapasitas runway menjadi lebih dari 86 pergerakan setiap jamnya. Tugas akhir ini mencoba untuk mengetahui apakah kapasitas dari runway ke-3 yang direncanakan dan baru beroperasi dapat memenuhi target yang telah ditetapkan.

Runway 3 baru Bandara Internasional Soekarno-Hatta memiliki panjang runway sebesar 3000 x 60 meter dengan arah runway 06 – 24. Dari hasil pengukuran didapatkan lebar taxiway ± 30 meter dengan 3 buah exit taxiway dengan sudut 30° dan 1 exit taxiway dengan sudut 90°. Dari analisis sisi udara runway 3 pada Tugas Akhir ini didapatkan panjang runway 3200 meter dengan lebar 45 meter dengan pesawat terbesar Boeing 747-400, sedangkan lebar taxiway sebesar 25 meter. Untuk analisis arah

runway sama dengan arah eksisting yaitu 06 – 24 dengan usability factor 98% - 99%.

Berdasarkan hasil perhitungan simulasi didapatkan kapasitas pergerakan pada runway 2 sebesar 42 pergerakan dan 43 pergerakan pada runway 3. Namun, runway 2 dan 3 tidak dapat digunakan secara bersamaan (simultan) untuk take off dan landing dikarenakan jarak pemisah antara dua runway terlalu dekat sebesar 500 meter. Adanya crossing taxiway mengakibatkan pergerakan di runway 3 harus melewati runway aktif 2, sehingga perlu dilakukan pengaturan jadwal. Dengan menggunakan prinsip Air Traffic Separation (ATS), didapatkan kapasitas sebesar 59 pergerakan dengan 30 pergerakan pada runway 2 dan 29 pergerakan pada runway 3. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan kapasitas dari kedua runway menurun dan penambahan runway 3 hanya meningkatkan operasi penerbangan sebanyak 17 pergerakan dibandingkan dengan sebelum adanya penambahan runway 3.

Kata Kunci : *Crossing Taxiway, Kapasitas Runway, Parallel Runway, Simulasi*

RUNWAY 3 PERFORMANCE STUDY AND THE EFFECT OF CROSSING TAXIWAY ON RUNWAY 2 CAPACITY IN SOEKARNO-HATTA INTERNATIONAL AIRPORT

Name : Mokhamad Bagus Indrawan
NRP : 0311164000017
Departement : Teknik Sipil FTSPK ITS
Dosen Konsultasi : Ir. Ervina Ahyudanari, ME, Ph.D

ABSTRACT

One of the airports with the busiest flight in Indonesia is Soekarno-Hatta Airport, located in Tangerang, Banten. The increase in the number of passengers affected in the increase in aircraft movement, so that a larger runway capacity was needed to avoid movement delays that could occur

Soekarno-Hatta International Airport built a new runway as the 3rd runway of two existing parallel runways. According to PT. Angkasa Pura II, the presence of the 3rd runway can increase aircraft movement capacity by 114 to 120 movements per hour. Also built East Cross Taxiway on the east side of the airport to increase runway capacity to more than 86 movements per hour.

The new Runway 3 of Soekarno-Hatta International Airport has a runway length of 3000 x 60 meters in the runway direction 06-24. From the measurement results obtained ± 30 meters taxiway width with 3 exit taxiways with an angle of 30° and 1 exit taxiway with an angle of 90° . From the airside analysis of runway 3 in this Final Project, the runway length is 3200 meters with a width of 45 meters with the largest aircraft of the Boeing 747-400, while the taxiway width is 25 meters. The runway direction analysis is the same as the existing direction which is 06-24 with usability factor 98% - 99%.

Based on the simulation calculation results, the movement capacity on runway 2 in 42 movements and 43 movements on runway 3. However, runway 2 and 3 cannot be used simultaneously

for take-off and landing because the separation distance between the two runways is too close by 500 meters. The presence of a crossing taxiway results in movement on runway 3 must pass through active runway 2, so it is necessary to set a schedule. By using the principle of Air Traffic Separation (ATS), a capacity of 59 movements is obtained with 30 movements on runway 2 and 29 movements on runway 3. From these results, it can be concluded that the capacity of both runways decreases and the addition of runway 3 only increases flight operations by 17 movements compared with before the addition of runway 3.

Keywords : Crossing Taxiway, Runway Capacity, Parallel Runway, Simulation

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya karena penulis dapat mengerjakan dan menyelesaikan tugas akhir dengan judul “Studi Kinerja *Runway 3* Dan Pengaruh Adanya *Crossing Taxiway* Terhadap Kapasitas *Runway 2* Di Bandara Internasional Soekarno-Hatta”.

Selama proses pengerjaan, penulis mendapatkan bantuan di tengah kendala-kendala yang juga penulis rasakan ketika menyusun tugas akhir ini. Oleh karena itu penulis ingin mengucapkan terima kasih ke berbagai pihak, ucapan terima kasih penulis tujukan kepada:

1. Allah SWT. Yang telah memudahkan hamba-Nya dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Keluarga terutama ayah dan ibu yang tiada hentinya selalu mendukung secara moril dan materiil serta mendoakan penulis dalam pengerjaan Tugas Akhir.
3. Ibu Ir. Ervina Ahyudanari, ME., PhD. selaku dosen pembimbing yang telah dengan sabar membimbing dan mendidik penulis dalam proses penyusunan Tugas Akhir.
4. Bapak dan Ibu Dosen khususnya Departemen Teknik Sipil di Institut Teknologi Sepuluh Nopember yang telah membekali penulis dengan berbagai disiplin ilmu yang berguna.
5. Rekan-rekan mahasiswa berbagai angkatan terutama S59 atas pengalaman dan bantuan moril yang tak terhingga.
6. Sahabat-sahabat penulis, Teman Bahagia (Muarif, Amel, Anis, Baihaqi, Chindy, Dudi, Fandi, Firoh, Ismail, Jannah, Markus, Metika) dan juga Tim Hore (Arina, Alfin., Icha, Lalang, Leo, Tria, Tyas, Yerika) yang telah kebersamai dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.

Penulis berusaha menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan sebaik-baiknya dan menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna. Karena itu segala bentuk saran, koreksi dan kritik dari pembaca sangat penulis harapkan.

Surabaya, 08 Juli 2020

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
ABSTRAK.....	iii
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat.....	4
1.6 Lokasi Studi.....	4
BAB II STUDI LITERATUR.....	7
2.1 <i>Parallel Runway</i>	7
2.2 Taxiway dan Exit Taxiway.....	9
2.3 Metode Perhitungan Jam Puncak.....	10
2.4 Perencanaan Perhitungan Kapasitas <i>Runway</i>	11
2.5 Simulasi Pergerakan <i>Parallel Runway</i>	12
2.6 Teori Simulasi.....	12
BAB III METODOLOGI	15

3.1	Diagram Alir Penyelesaian Tugas Akhir.....	15
3.2	Identifikasi Masalah	20
3.3	Studi Literatur.....	20
3.4	Pengumpulan Data.....	20
3.4.1	Jadwal Kedatangan dan Keberangkatan Pesawat.....	20
3.4.2	Data Geometrik Sisi Udara Eksisting Bandara	21
3.4.3	Analisa Angin.....	38
3.4.4	Kawasan Keselamatan Operasi Penerbangan (KKOP)	46
3.5	Perhitungan dan Penyelesaian Tugas Akhir	53
3.5.1	Jam Puncak (<i>Peak Hour</i>).....	53
3.5.2	Kecepatan Keberangkatan dan Kedatangan Pesawat Rata-Rata.....	57
3.5.3	Kategori Pesawat.....	57
3.5.4	Jarak Pemisah Minimum.....	57
3.5.5	Perhitungan Kapasitas <i>Runway</i>	59
3.5.6	Simulasi Pergerakan <i>Runway</i> Dua Paralel.....	68
3.5.7	Kesimpulan dan Saran.....	68
BAB IV	ANALISIS DATA.....	61
4.1	Evaluasi Kesesuaian Geometrik <i>Runway</i> 3	61
4.1.1	Perhitungan Panjang <i>Runway</i>	63
4.1.2	Geometrik Landasan Pacu (<i>Runway</i>)	67
4.1.3	<i>Landing Distances</i> (Jarak Pendaratan Pesawat).....	73
4.1.4	Evaluasi Kesesuaian Landas Hubung (<i>Taxiway</i>)	75
4.2	Analisis Kesesuaian <i>Parallel Runway</i> 2 dan <i>Runway</i> 3	78

4.3	Analisis Angin	80
4.3.1	Hasil Pengolahan Data Angin	80
4.4	Marka <i>Runway</i>	83
BAB V SIMULASI KAPASITAS <i>RUNWAY</i>		85
5.1	Data Pergerakan Pesawat dan Penentuan Peak Hour	85
5.2	Kategori dan Karakteristik Pergerakan Pesawat.....	87
5.3	Konversi Pergerakan Pesawat Untuk Tahun 2019	92
5.4	Simulasi Kapasitas <i>Runway</i> Menggunakan Metode <i>Time Space Analysis</i>	96
5.4.1	Simulasi Kapasitas <i>Runway</i> 1 Tahun 2019	98
5.4.2	Simulasi Kapasitas <i>Runway</i> 2 Tahun 2019	104
5.4.3	Simulasi Kapasitas <i>Runway</i> 3 Tahun 2019	106
5.5	Analisis Pengaruh <i>Crossing Taxiway</i> Terhadap Kapasitas <i>Runway 2</i>	110
5.5.1	Analisis Pemakaian <i>Runway</i> Menggunakan Prinsip <i>ATS (Air Traffic Separation)</i>	111
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		123
6.1	Kesimpulan.....	123
6.2	Saran.....	124
DAFTAR PUSTAKA		125
LAMPIRAN		127
BIODATA PENULIS		137

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Bandara Internasional Soekarno-Hatta,Tangerang...	4
Gambar 1.2 Layout <i>Runway</i> Bandara Internasional Soekarno..... - Hatta, Tangerang.....	5
Gambar 3.1 Konfigurasi exit taxiway dan persimpangan	27
Gambar 3.2 Penampang jari-jari taxiway.....	28
Gambar 3.3 Kemiringan Memanjang <i>Taxiway</i>	30
Gambar 3.4 Penampang Kemiringan Melintang.....	31
Gambar 3.5 Ukuran-ukuran dan bentuk angka untuk <i>marking</i> nomor landasan.....	33
Gambar 3.6 Bentuk <i>thresold marking</i>	35
Gambar 3.7 Bentuk dan jarak <i>touchdown zone marking</i>	35
Gambar 3.8 Aiming Point Marking.....	36
Gambar 3.9 Runway Centre Line Marking	37
Gambar 3.10 Tampilan Awal Data Online BMKG.....	39
Gambar 3.11 Halaman Login	40
Gambar 3.12 Halaman Awal Dashboard BMKG Data Online ..	40
Gambar 3.13 Menu Pemilihan Data Iklim	41
Gambar 3.14 Laman Pemilihan Data Harian	41
Gambar 3.15 Pemilihan Informasi Data Angin yang Dibutuhkan	42
Gambar 3.16 Pengunduhan Data Angin.....	43
Gambar 3.17 Data Angin Setelah Diunduh Dalam Bentuk Excel.....	43
Gambar 3.18 Tampilan Awal dan Input Data	44
Gambar 3.19 <i>Penginput-an</i> Data	45
Gambar 3.20 <i>Setting Circle</i> untuk Windrose	45
Gambar 3.21 Kotak Dialog <i>Crosswind</i>	46
Gambar 3.22 Hasil Analisis Windrose dengan Windrosepro.....	46
Gambar 3.23 Kawasan Pendekatan Lepas Landas.....	49
Gambar 3.24 Kawasan Kemungkinan Bahaya Kecelakaan	50
Gambar 3.25 Kawasan Di Bawah Permukaan Horizontal Dalam	51
Gambar 3.26 Kawasan Di Bawah Permukaan Horizontal Luar.	52

Gambar 3.27 Kawasan Di Bawah Permukaan Kerucut.....	53
Gambar 3.15 Konsep Diagram Waktu-Jarak Untuk Operasi Campuran Dalam Sebuah Sistem <i>Runway</i>	60
Gambar 3.16 Diagram Waktu-Jarak Untuk Antar Kedatangan Keadaan Merapat	64
Gambar 3.17 Diagram Waktu-Jarak Untuk Antar Kedatangan Keadaan Merenggang.....	65
Gambar 4.1 Layout Bandara Internasional Soekarno-Hatta dengan <i>Runway</i> 3	62
Gambar 4.2 Grafik Panjang Takeoff.....	66
Gambar 4.3 Jarak Exit Taxiway dari Ujung <i>Runway</i> 06	74
Gambar 4.4 Jarak Exit Taxiway dari Ujung <i>Runway</i> 24	74
Gambar 4.5 Lebar Taxiway Eksisting.....	76
Gambar 4.6 Jarak Pemisah Dua <i>Runway</i> (<i>Runway</i> 2 dan 3)	79
Gambar 4.22 Jarak Tempuh Pesawat di <i>Taxiway</i>	108

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Lebar <i>Runway</i> Minimum.....	25
Tabel 3.2 Dimensi Taxiway	28
Tabel 3.3 <i>Taxiway</i> Shoulders Minimum	29
Tabel 3.4 <i>Taxiway</i> Longitudinal Slope.....	30
Tabel 3.5 Kemiringan Melintang Maksimum <i>Taxiway</i>	31
Tabel 3.6 Ukuran <i>Threshold Marking</i>	34
Tabel 3.7 Jumlah masing-masing pada <i>touchdown zone</i> <i>marking</i>	36
Tabel 3.8 Letak dan Ukuran Aiming Point Marking.....	37
Tabel 3.9 Keterangan Runway Centre Line Marking	38
Tabel 3.10 Minimum <i>Arrival-arrival separation</i> pada kondisi IMC	58
Tabel 3.11 Minimum <i>Departure-departure separation</i> pada kondisi IMC.....	58
Tabel 3.12 Minimum <i>Arrival-arrival separation</i> pada kondisi VMC.....	59
Tabel 3.13 Minimum <i>Departure-departure separation</i> pada kondisi VMC.....	59
Tabel 4.1 Declared Distanced	61
Tabel 4.2 Runway Shoulders.....	68
Tabel 4.3 <i>Cleareance</i>	68
Tabel 4.4 Kemiringan Memanjang.....	69
Tabel 4.5 Kemiringan Melintang	69
Tabel 4.6 Jarak Pandang.....	70
Tabel 4.7 Jalur Landas Pacu (<i>Runway Strips</i>)	71
Tabel 4.8 Dimensi Untuk <i>Stopway</i>	71
Tabel 4.9 Holding Bay	72
Tabel 4.10 Dimensi RESA	72
Tabel 4.11 Jarak dari Ujung <i>Runway</i> ke Exit Taxiway	74
Tabel 4.12 Jarak Pendaratan Dengan Koreksi.....	75
Tabel 4.13 Data Exit Taxiway <i>Runway 3</i>	76
Tabel 4.14 Maksimum <i>Crosswind</i>	80
Gambar 4.7 Windrose Bandara Internasional Soekarno-Hatta ...	81

Tabel 4.15 Wind Coverage Bandara Internasional Soekarno-Hatta	82
Tabel 5.1 Data Historis Pergerakan Pesawat.....	85
Tabel 5.2 Rekapitulasi Keberangkatan dan Kedatangan saat <i>peak day</i> (hari sibuk).....	86
Tabel 5.3 Total Data Angkutan Udara 2019	87
Tabel 5.4 Kategori Pesawat Berdasarkan Kecepatan	87
Tabel 5.5 <i>Runway Occupancy Time</i> Masing-masing Tipe Pesawat	88
Tabel 5.6 Jadwal Keberangkatan Saat Peak Hour.....	89
Tabel 5.7 Jadwal Kedatangan Saat Peak Hour.....	90
Tabel 5.8 Kecepatan dan ROT Rata-Rata	91
Tabel 5.9 Persentase Pergerakan Selama Seminggu 2015	92
Tabel 5.10 Hasil Konversi Pergerakan Pesawat Tahun 2019.....	93
Tabel 5.11 Jumlah dan Presentase Pergerakan Perjam Pada Hari Rabu 15 Juli 2015.....	94
Tabel 5.12 Rekapitulasi Pergerakan perjam tahun 2019	95
Tabel 5.13 Pembagian Pergerakan <i>Runway</i>	96
Tabel 5.14 Kecepatan dan Panjang Kebutuhan Pesawat.....	99
Tabel 5.15 Variasi Persentase Kategori Pesawat	100
Tabel 5.16 Persentase Kedatangan dan Keberangkatan	100
Tabel 5.17 Jarak Threshold ke Exit Taxiway <i>Runway</i> 1	101
Tabel 5.18 Jarak Pemisah Minimum.....	102
Tabel 5.19 Perhitungan Simulasi Kapasitas <i>Runway</i> 1 Tahun 2019.....	103
Tabel 5.20 Jarak Threshold ke Exit Taxiway <i>Runway</i> 2.....	105
Tabel 5.21 Perhitungan Simulasi Kapasitas <i>Runway</i> 2 Tahun 2019.....	105
Tabel 5.22 Jarak Threshold ke Exit Taxiway <i>Runway</i> 3.....	107
Tabel 5.24 Perhitungan Simulasi Kapasitas <i>Runway</i> 3 Tahun 2019.....	109
Tabel 5.25 Data Waktu Pergerakan Pesawat di <i>Runway</i> 2.....	112
Tabel 5.26 Data Waktu Pergerakan Pesawat di <i>Runway</i> 3	113
Tabel 5.27 Analisis Waktu Separasi <i>Runway</i> 2.....	116
Tabel 5.27 Analisis Waktu Separasi <i>Runway</i> 3.....	118

Tabel 5.28 Pengurutan Jadwal Pergerakan *Runway* 2 dan
Runway 3 120

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pesawat adalah salah satu alat transportasi vital di suatu negara yang terus mengalami peningkatan jumlah penumpang baik domestik maupun internasional. Akibat dari meningkatnya permintaan transportasi, maka bandar udara yang diperlukan juga perlu diperhatikan baik dari fasilitas sisi udara (*air side*) dan sisi darat (*land side*). Fasilitas yang termasuk sisi udara meliputi landasan pacu (*runway*), landasan hubung (*taxiway*), dan landasan parkir (*apron*). Kemampuan suatu bandar udara untuk melayani operasi penerbangan berbeda-beda tergantung dari jumlah dan konfigurasi fasilitasnya, baik sisi udara maupun sisi darat.

Salah satu operasi penerbangan terpadat yang ada di Indonesia adalah Bandara Soekarno-Hatta yang berada di Tangerang, Banten. Hal tersebut terlihat dari jumlah pergerakan penumpang di Bandara Internasional Soekarno-Hatta pada semester pertama (Januari-Juni 2018) yaitu mencapai 32.424.261 penumpang atau tumbuh sebanyak 9% dibandingkan dengan periode yang sama di tahun 2017 yaitu 29.837.845 penumpang (SINDONEWS.com, 2018). Saat ini operasional kedatangan dan keberangkatan pesawat udara Soekarno-Hatta dilakukan pada tiga *runway* yang paralel yaitu *runway* satu dengan nama 07R/25L, *runway* kedua dengan nama 07L/25R, dan *runway* ketiga terbaru yang baru saja diresmikan pada 15 Agustus 2019. *Runway* satu memiliki dimensi 3660 x 60 meter, *runway* dua lebih pendek 3600 x 60 meter, sedangkan *runway* tiga memiliki dimensi 2500 x 60 meter. Upaya pembangunan *runway* tiga oleh PT. Angkasa Pura II yaitu untuk menambah kapasitas pergerakan pesawat sebanyak 114 hingga 120 pergerakan setiap jam. Dibangun juga *East Cross Taxiway* berada di sebelah sisi timur bandara untuk meningkatkan kapasitas *runway* menjadi lebih dari 86 pergerakan setiap jamnya.

Adanya penambahan *runway* selain untuk meningkatkan kapasitas pergerakan pesawat, kapasitas suatu bandar udara juga terkait dengan keselamatan penerbangan. Jika jumlah pesawat

yang beroperasi di suatu bandara melebihi kapasitasnya, tentunya akan menyebabkan overload pada sistem *Air Traffic Management* (ATM). Misalnya pada *Air Traffic Controller*, yang akan mengalami kelebihan beban kerja dan terjadi kelelahan, sehingga peluang terjadi pelanggaran-pelanggaran akan meningkat yang dapat membahayakan keselamatan operasi penerbangan. Sebagai langkah awal untuk mencegah adanya pelanggaran, maka penambahan *runway* perlu dilakukan analisis kesesuaian penambahan *runway* dengan peraturan yang ada. Peraturan yang diacu yaitu ketentuan persyaratan teknis pengoperasian fasilitas teknik bandar udara yang tertera di SKEP Nomor 77 Tahun 2005 dan kriteria keselamatan operasional penerbangan yang tertera di SNI 03-7112-2005.

Namun, pembangunan *runway* ketiga yang direncanakan dapat meningkatkan kapasitas *runway* menjadi 114 hingga 120 pergerakan perlu ditinjau kembali setelah *runway* ketiga beroperasi. Adanya *crossing taxiway* antara *runway* tiga dan dua juga perlu ditinjau kembali apakah mengakibatkan kapasitas *runway* dua menjadi menurun dan pergerakan pesawat pada *runway* tiga menjadi tidak maksimal. Dikatakan kapasitas *runway* dua dapat menurun ketika pesawat yang akan beroperasi di *runway* dua harus menunggu jika ada pesawat yang melintas di *crossing taxiway* sehingga menyebabkan *delay* yang berakibat pada menurunnya pergerakan pesawat di *runway* dua.

Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis terhadap objek *runway* yang saat ini beroperasi di bandara Soekarno-Hatta dengan mengidentifikasi kepadatan lalu lintas pada *runway*, menganalisa kapasitas maksimum yang dapat ditampung oleh setiap *runway*, dan mengidentifikasi besarnya angka pertumbuhan pergerakan pesawat sehingga dapat dievaluasi kapasitas *runway* rencana sesuai dengan kapasitas *runway* setelah *runway* ketiga dioperasikan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan, maka perlu studi kasus untuk mengetahui :

1. Bagaimana kesesuaian *parallel runway* pada *runway* kedua dan *runway* ketiga Bandara Internasional Soekarno-Hatta berdasarkan ketentuan persyaratan teknis pengoperasian fasilitas teknik bandar udara dan kriteria keselamatan operasional penerbangan?
2. Berapa kapasitas eksisting *runway* kedua dan ketiga Bandara Internasional Soekarno-Hatta?
3. Bagaimana pengaruh adanya *crossing taxiway* terhadap kapasitas *runway* kedua dan ketiga Bandara Internasional Soekarno-Hatta?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan yang ingin dicapai pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui kesesuaian *parallel runway* pada *runway* kedua dan *runway* ketiga Bandara Internasional Soekarno-Hatta dengan ketentuan persyaratan teknis pengoperasian fasilitas teknik bandar udara dan memenuhi kriteria keselamatan operasional penerbangan
2. Mengetahui kapasitas *runway* kedua dan ketiga Bandara Internasional Soekarno-Hatta
3. Mengetahui pengaruh adanya *crossing taxiway* terhadap kapasitas *runway* kedua dan ketiga Bandara Internasional Soekarno-Hatta

1.4 Batasan Masalah

Batasan Penelitian yang digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah :

1. Fasilitas sisi udara bandara yang ditinjau adalah *Runway*, *Parallel Taxiway*, dan *Exit Taxiway*.
2. Lokasi yang ditinjau pada penulisan tugas akhir ini adalah Bandara Internasional Soekarno-Hatta.
3. Data yang diambil adalah data sekunder dan tidak melakukan survey langsung di lapangan.
4. Metode yang digunakan untuk perhitungan kapasitas *runway* adalah metode matematis.

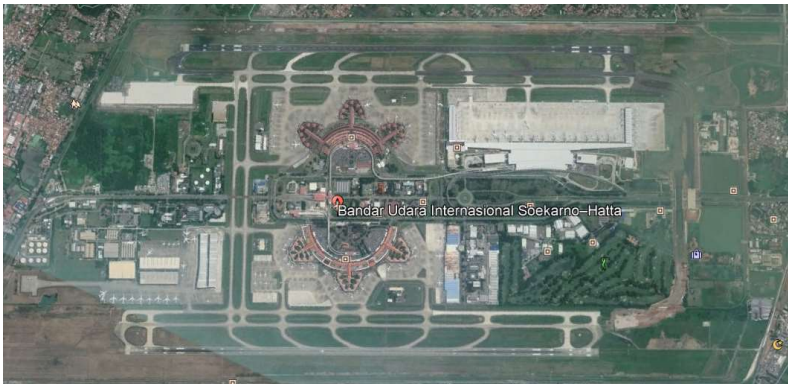
1.5 Manfaat

Manfaat yang bisa didapat dari penelitian Tugas Akhir ini adalah :

1. Sebagai tambahan pengetahuan tentang cara menghitung kapasitas *runway* suatu bandara
2. Sebagai salah satu referensi yang berkaitan dengan upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kapasitas *runway*.
3. Dapat dijadikan acuan dalam pembangunan *parallel runway* pada suatu bandara

1.6 Lokasi Studi

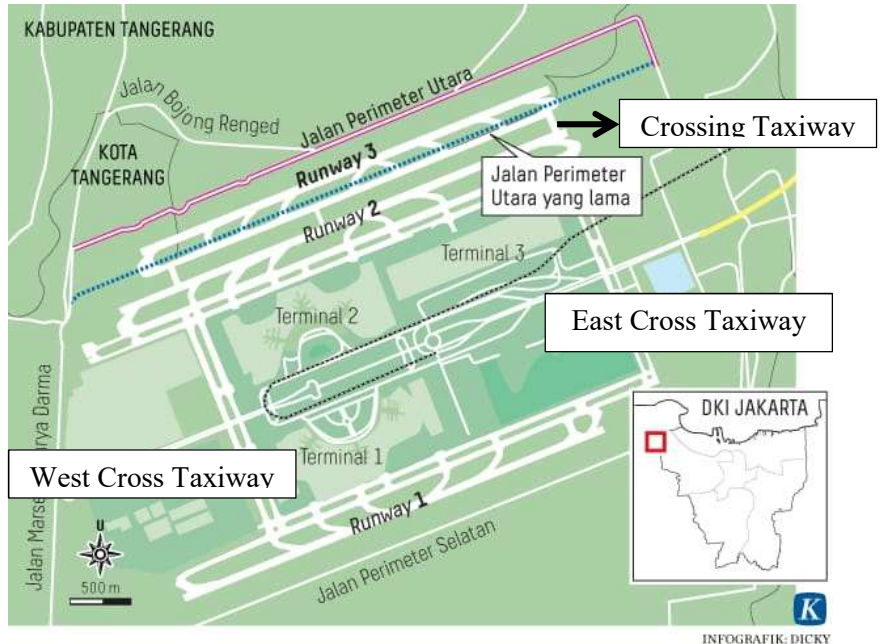
Lokasi dari pengerjaan Tugas Akhir yaitu berada di Bandar Udara Internasional Soekarno-Hatta, Tangerang, Banten, Indonesia. Kondisi Bandara Internasional Soekarno-Hatta dapat dilihat pada Gambar 1.1 yang dapat dilihat melalui Google Earth.



Gambar 1.1 Bandara Internasional Soekarno-Hatta, Tangerang
(Sumber : *Google Earth*)

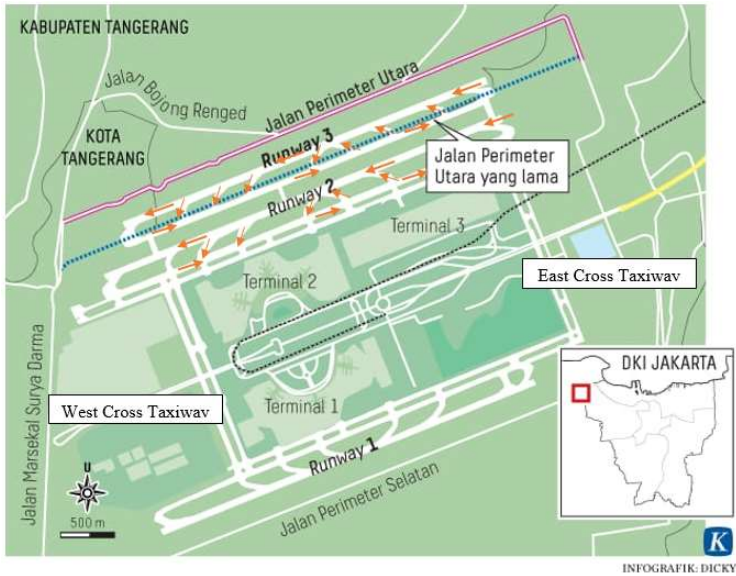
Bandara Internasional Soekarno-Hatta sebelumnya hanya memiliki 2 *runway* yaitu *runway* 1 yang berada pada sisi selatan dan *runway* 2 yang berada pada sisi utara. Saat ini, Bandara Internasional Soekarno-Hatta memiliki *runway* 3 yang berada di sisi utara *runway* 2 yang dihubungkan oleh *crossing taxiway* untuk

menuju terminal. *Runway 1* dan *runway 2* dihubungkan oleh 2 *crossing taxiway* yaitu *West Cross Taxiway* yang berada pada sebelah barat dan *East Cross Taxiway* yang berada pada sisi timur seperti pada Gambar 1.2 berikut.



Gambar 1.2 Layout *Runway* Bandara Internasional Soekarno-Hatta, Tangerang
(Sumber : Kompas.com)

Untuk mengetahui kondisi pergerakan pesawat di *runway 3* terbaru diperlukan analisis alur pergerakan pesawat saat *landing* dan *take off* yang ditunjukkan pada Gambar 1.3.



Gambar 1.3 Alur pergerakan pesawat pada *runway* kedua dan ketiga
(Sumber : Kompas.com)

BAB II STUDI LITERATUR

2.1 Parallel Runway

Parallel runway merupakan jenis konfigurasi *runway* dimana letak *runway* sejajar antara satu *runway* dengan *runway* lainnya yang dihubungkan oleh landasan hubung (*taxiway*). Menurut Horonjeff, McKelvey, Sproule, & Young (2010), jarak antar *runway* dibagi menjadi tiga dan bergantung pada garis tengah pemisah antara dua *runway*. Pertama yaitu landasan pacu paralel *Close* (Berdekatan) berjarak minimum 700 ft (213 m) sampai dengan kurang dari 2500 ft (1.067 m). Pada kondisi IFR, pergerakan pesawat di satu *runway* bergantung pada pergerakan di *runway* lainnya. Yang kedua yaitu *Intermediate* (menengah) berjarak antara 2500 ft (762 m) sampai dengan kurang dari 4.300 ft (1.310 m). Pada kondisi IFR, pergerakan kedatangan (*landing*) pesawat tidak bergantung pada pergerakan keberangkatan (*take-off*) pesawat di *runway* lainnya. Kemudian landasan pacu paralel *Far* (Berjauhan) dipisahkan setidaknya dengan jarak 4.300 ft (1.310 m). Pada kondisi IFR, dua *runway* dapat dioperasikan tanpa bergantung pada satu sama lain, baik untuk kedatangan maupun keberangkatan pesawat. Diperkirakan *runway* paralel dapat menangani setidaknya 70 persen lebih banyak daripada landasan pacu tunggal dalam kondisi VFR dan sekitar 60 persen pada kondisi IFR. Direkomendasikan agar kedua landasan pacu ditempatkan dengan jarak tidak kurang dari 1000 kaki (1200 kaki, di mana pesawat bersayap lebar yang lebih besar dapat dilayani). Manfaat utama dari landasan pacu ganda adalah untuk memberikan peningkatan kapasitas IFR dengan pembebasan lahan yang minimal.

Selain ketentuan garis tengah pemisah antara dua *runway*, analisa angin yang berada di *parallel runway* dan sekitarnya perlu diperhatikan. Berdasarkan studi yang dilakukan oleh Akhmad Fadholi (2013), ada beberapa komponen angin yaitu *headwind*, *tailwind*, dan *crosswind*. *Headwind* adalah angin yang berhembus dari arah depan pesawat, sedangkan *tailwind* adalah angin yang

berhembus dari arah belakang (ekor) pesawat dan akan mengurangi daya angkat. Kemudian, *crosswind* yaitu angin yang berhembus dari sisi samping pesawat. Perubahan kecepatan yang cukup besar pada *crosswind* ketika pesawat dalam proses pendaratan dapat menyebabkan pesawat melenceng dari arah landas pacu atau bahkan tergelincir (Hongkong Observatory, 2010). Menurut (150/5300-13 CHG 6, Appendix 1,2000), *Crosswind* adalah resultan vektor yang bertindak di sudut kanan ke landas pacu. Hal ini sama dengan kecepatan angin dikalikan dengan sinus trigonometri sudut antara arah angin dan arah landas pacu. *Crosswind* merupakan penyebab terkait cuaca nomor satu kecelakaan penerbangan setiap tahun. NTSB (*National Transportation Safety Board*) mencatat terjadi 2684 kecelakaan penerbangan yang terkait dengan cuaca sejak 1995 hingga 2001, 25% diantaranya karena *crosswind*. Fakta membuktikan dua teratas yaitu *crosswind* dan *gusty* menjadi 45% dari kondisi cuaca terkait kecelakaan penerbangan (Whitsitt, B, 2008). Beberapa referensi ICAO dan FAA (*Federal Aviation Administration*) menyatakan bahwa besarnya *crosswind* maksimum yang diperbolehkan bergantung pada jenis dan ukuran pesawat yang beroperasi, susunan sayap dan kondisi permukaan landasan pacu. Berdasarkan rekomendasi ICAO (Annex 14, 2004), arah landas pacu sebuah bandar udara harus diorientasikan sehingga pesawat udara dapat mendarat dan lepas landas paling sedikit 95% dari seluruh komponen angin yang bertiup.

Runway occupancy time juga perlu diperhatikan karena berpengaruh pada pergerakan antar pesawat di *parallel runway*. *Runway occupancy time* yaitu waktu yang dibutuhkan pesawat dimulai dari *landing* sampai *keluar runway*. Nilai ROT tergantung dari kecepatan pesawat saat *landing* dan letak *exit taxiway* yang digunakan pesawat. Ada dua jenis ROT yaitu *Runway Occupancy Time Take Off* (ROTT) dan *Runway Occupancy Time Landing* (ROTL). *Runway occupancy time take off* merupakan waktu yang digunakan pesawat ketika melewati marka tanda berhenti, sampai dengan roda pendarat utama lepas dari *runway*. Sedangkan *runway*

occupancy time landing merupakan jarak waktu yang digunakan pesawat ketika melintasi *threshold* sampai dengan ekor pesawat telah meninggalkan *runway*.

2.2 Taxiway dan Exit Taxiway

Taxiway adalah bagian dari fasilitas sisi udara bandar udara yang dibangun untuk jalan keluar masuk pesawat dari *runway* maupun sebagai sarana penghubung antara beberapa fasilitas seperti *aircraft parking position taxiline*, *apron taxiway*, dan *rapid exit taxiway*.

Berdasarkan studi yang dilakukan oleh Prasetya (2017), dalam analisa jumlah *exit taxiway* pada *runway* 1 Bandara Internasional Soekarno-Hatta apakah masih efektif dalam melayani jadwal penerbangan yang padat akibat adanya peningkatan jumlah penumpang. Penentuan jumlah *exit taxiway* berdasarkan variasi jenis pesawat dan kerapatan jadwal penerbangan pada kondisi eksisting, 5 tahun mendatang, dan 10 tahun mendatang.

Pengumpulan data berupa data primer dan data sekunder, data primer dilakukan survey di menara ATC Bandara untuk mencatat variasi pemakaian *runway* (*Runway Occupancy Time*), distribusi pemakaian *exit taxiway*, tipe pesawat, arah pendaratan di *runway*, dan kecepatan mendarat. Untuk data sekunder yaitu volume lalu lintas udara berdasarkan data dari Bandara Internasional Soekarno-Hatta untuk menentukan jumlah pesawat saat *peak hour*. Analisis pertama yaitu menganalisis kapasitas *runway* dengan menggunakan konsep jarak-waktu dan perumusan matematis kapasitas jenuh. Setelah menghitung kapasitas *runway*, kemudian dibandingkan setiap hasil perhitungan apakah kapasitas *runway* masih dapat melayani pertumbuhan penerbangan atau tidak. Jika tidak, maka direncanakan penambahan jumlah *exit taxiway*. Didapat kebutuhan *exit taxiway* sudah terpenuhi dengan tersedianya 7 *exit taxiway* dengan hasil perhitungan kapasitas *runway* 1 eksisting sebesar 58 operasi, dan 74 operasi penerbangan untuk peramalan 10 tahun mendatang. Kepadatan jumlah pergerakan saat jam puncak juga teratasi dengan pembagian

volume ke *runway* 2, pembagian volume ke jam lain dan penggantian tipe pesawat terbang yang lebih besar.

Berdasarkan studi yang dilakukan oleh Nugraha (2017), didapat adanya 2 *taxiing conflict* di *parallel taxiway* pada kondisi eksisting walaupun kinerja masih tergolong baik. Dilakukan juga simulasi terhadap antrian yang terjadi di *taxiway* menuju *runway*. Untuk peramalan pergerakan pesawat tahun 2021 didapatkan 6 kali *taxiing conflict* sedangkan tahun 2026 hanya terjadi 2 kali. Tahun 2031 persentase pesawat *delayed* sebesar 37% dari total penerbangan dan perbandingan tingkat kedatangan dengan kemampuan pelayanan menunjukkan 0,98 mendekati angka jenuh. Sedangkan pada tahun 2036 menunjukka angka 1,3 yang berarti sistem antrian menuju *runway* sudah jenuh dengan 12 kali *taxiing conflict*.

2.3 Metode Perhitungan Jam Puncak

Dalam melakukan perhitungan kapasitas *runway* suatu bandara, diperlukan adanya perhitungan jam puncak untuk mengetahui pergerakan pesawat terbanyak dalam satu jam pada satu hari (24 jam). Jam puncak atau *peak hour* diambil dari jam tersibuk pada bulan tersibuk dalam satu tahun.

Ada beberapa metode untuk mencari *peak hour*, pertama yaitu metode *Japan International Cooperated Agency* (JICA) (1991). Menurut Rahman (2013), tentang metode JICA dengan kondisi penerbangan Indonesia perlu menentukan nilai koefisien permintaan angkutan lalu lintas pada jam sibuk (C_p) terlebih dahulu apabila ingin menganalisis besarnya penumpang dan pergerakan pada jam sibuk. Kedua yaitu metode *National Plan Integrated Airport System* (NPIAS), untuk merumuskan nilai rata-rata pergerakan penumpang bulan maupun hari sudah ditentukan nilai masing-masing koefisien kemudian dikalikan dengan nilai arus penumpang tahunan maupun bulan (*annual passenger flow & average monthly flow*). Untuk *peak day* dan *peak hour* dikalikan juga nilai pergerakan puncak harian (*peak daily flow*) dengan koefisien yang sudah ditentukan Selanjutnya, menurut Pignataro (1973) dalam Rahman (2013) data eksisting jumlah rata-rata

pergerakan harian dalam satu tahun dan jumlah pergerakan pesawat pada bulan puncak dalam satu tahun menentukan rasio jumlah pergerakan pesawat bulan puncak terhadap jumlah pergerakan pesawat total satu tahun.

2.4 Perencanaan Perhitungan Kapasitas *Runway*

Untuk mengetahui apakah *runway* dapat melayani pergerakan pesawat, perlu adanya perhitungan kapasitas *runway* yang dapat dilayani berdasarkan jam puncak dengan pergerakan pesawat tersibuk. Ada dua metode untuk perumusan kapasitas *runway* yaitu menggunakan metode Federal Aviation Administration (FAA) dan perumusan matematis jenuh. Metode yang biasa digunakan yaitu perumusan matematis jenuh, menurut Horonjeff, McKelvey, Sproule, & Young (2011), dimana model ini menentukan jumlah operasi pesawat maksimum yang dapat ditampung oleh *runway* dalam jangka waktu tertentu (*peak hour*). Metode perumusan matematis jenuh dapat dihitung jika *headway* antara pesawat diketahui. Ide dasarnya adalah untuk memperkirakan waktu pelayanan rata-rata (*mean*), atau waktu antar kedatangan di ambang *runway* untuk campuran pesawat. Perumusannya adalah kapasitas berbanding terbalik dari waktu pelayanan rata-rata.

Pengembangan model untuk perumusan matematis jenuh yaitu:

- a. Pengembangan model untuk kedatangan saja (*arrivals only*)
 - Keadaan bebas kesalahan (*error free case*)
 - Keadaan Merapat ($V_i \leq V_j$)
 - Keadaan Meregang ($V_i > V_j$)
- b. Perhitungan tentang kesalahan posisi
 - Keadaan Merapat
 - Keadaan Meregang
- c. Pengembangan model untuk keberangkatan saja (*departures only*)
- d. Pengembangan model untuk operasi campuran

2.5 Simulasi Pergerakan *Parallel Runway*

Berdasarkan studi yang dilakukan Wilogo (2014), dalam simulasi penentuan jumlah dan komposisi pesawat maksimum pada dua *parallel runway* didapatkan komposisi maksimum untuk tiap kategori pesawat pada dua *parallel runway* sistem *independent arrivals* dan *independent departure* dengan jarak 4300 ft. Didapatkan juga kapasitas maksimum *parallel runway* untuk kedatangan saja (*arrival only*) sebesar 102 operasi per jam, dan operasi campuran (*mixed*) sebesar 88 operasi per jam dengan memakai persentase komposisi kategori pesawat dominan C dengan komposisi, B: 10%, C: 70% dan D: 20%. Dalam pengerjaannya ditinjau mengenai penentuan pola distribusi kedatangan dan keberangkatan, penentuan *airspace separation criteria*, penentuan *segregated operation*, penentuan ROT, penentuan *aircraft mix*, dan penentuan *headway*. Studi dilakukan di Bandara Juanda, Surabaya.

Berdasarkan studi yang dilakukan Annisa (2016), dalam studi kinerja tiga *runway* paralel di Bandara Internasional Soekarno-Hatta 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%. Kapasitas saat *peak hour* sebesar 124 operasi per jam kondisi eksisting. Sedangkan simulasi pada tahun 2020 didapatkan kapasitas sebesar 148 operasi per jam.

2.6 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.

Sebelumnya sudah ada studi terdahulu mengenai simulasi pada *parallel runway* yaitu studi yang dilakukan oleh Wilogo (2014) dengan judul “Simulasi Penentuan Jumlah dan Komposisi Pesawat Maksimum Pada Dua *Parallel Runway*”. Pada studi ini dilakukan simulasi untuk mendapatkan jumlah maksimum pergerakan pesawat yang dapat dilayani oleh dua *parallel runway* pada bandara internasional Juanda. Simulasi yang dilakukan menggunakan Microsoft Excel.

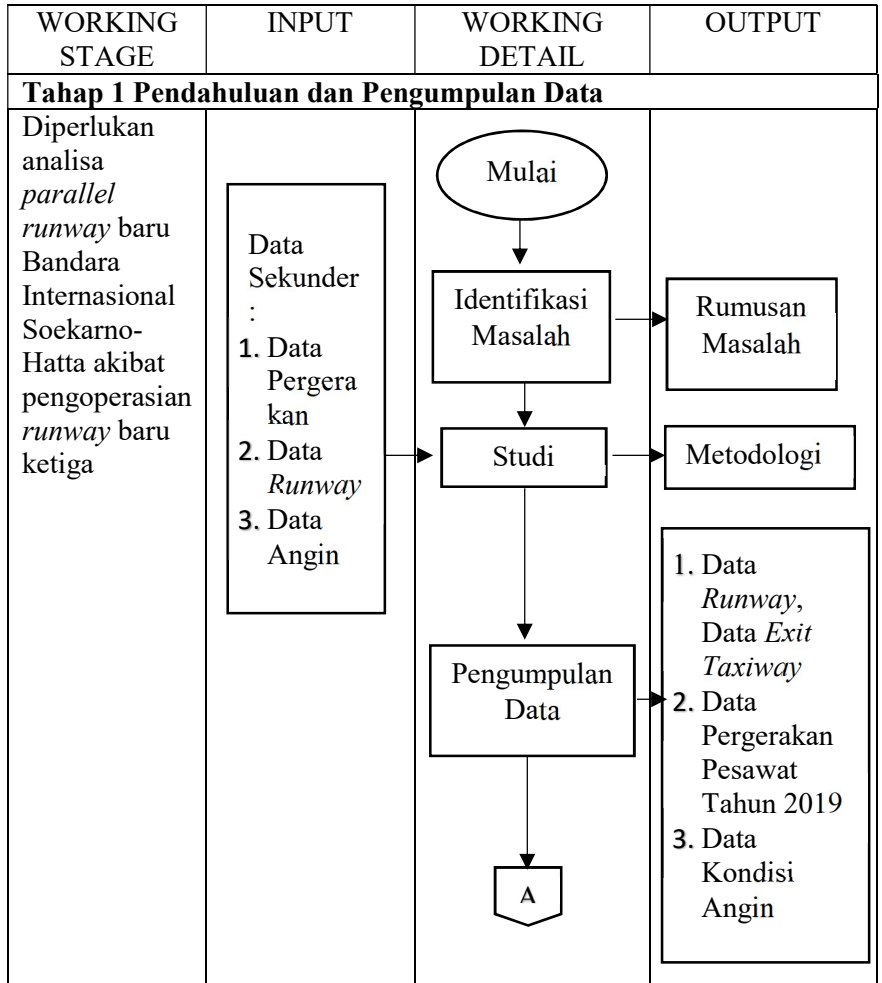
Sedangkan pada tugas akhir Annisa (2017) dengan judul “Studi Kinerja Tiga *Runway* Paralel di Bandara Soekarno-Hatta” , dilakukan simulasi pada tiga *runway* paralel di bandara internasional Soekarno-Hatta menggunakan metode *time space analysis* dengan program Microsoft Excel. Dari simulasi diharapkan kapasitas landasan pacu saat tiga *runway* beroperasi di bandara Soekarno-Hatta pada tahun 2020 dapat diketahui.

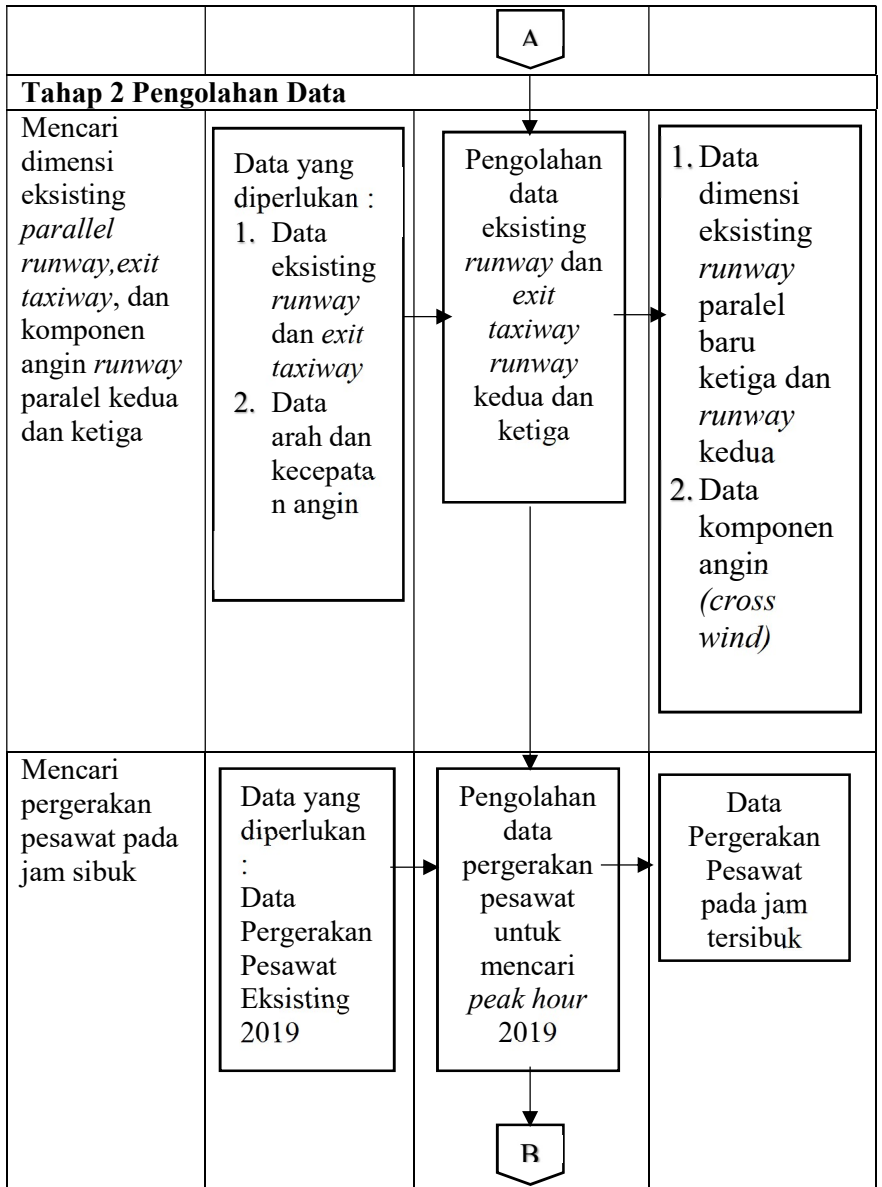
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

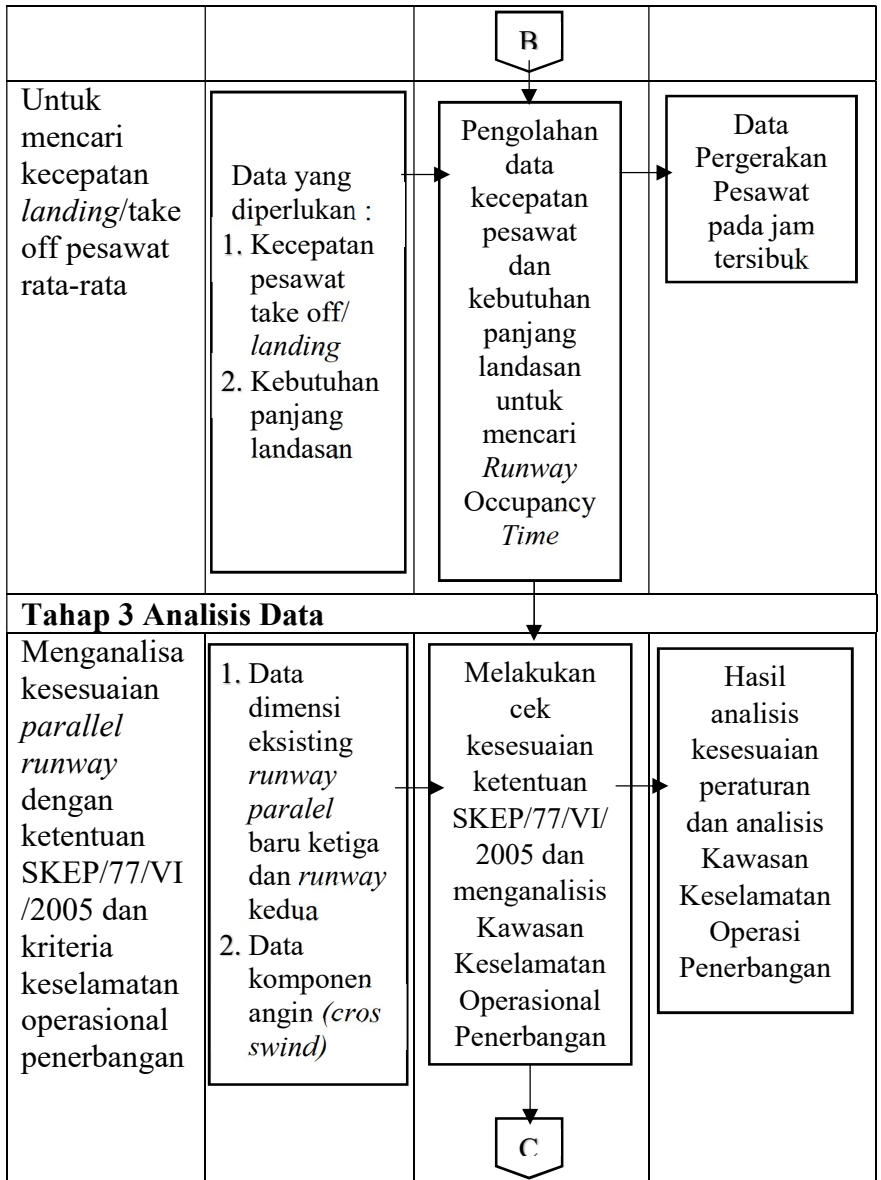
BAB III METODOLOGI

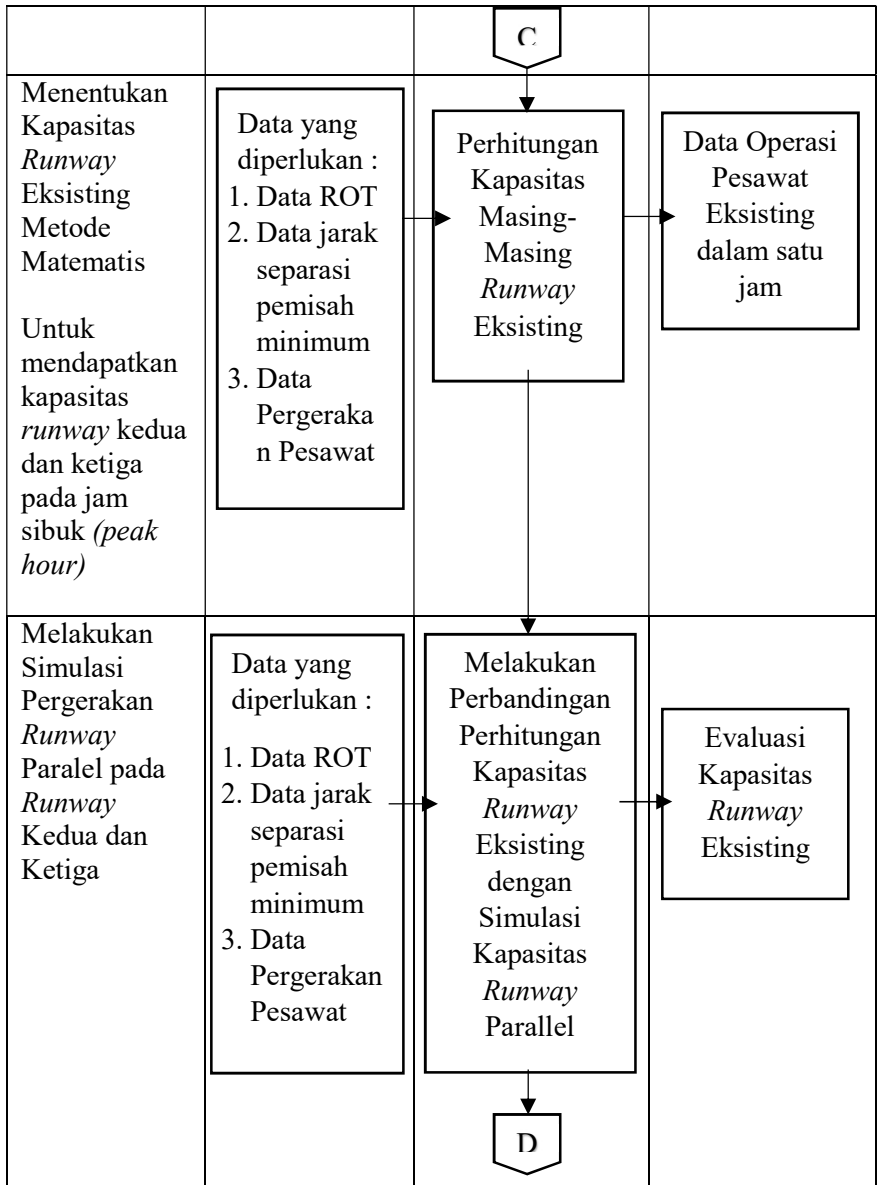
3.1 Diagram Alir Penyelesaian Tugas Akhir

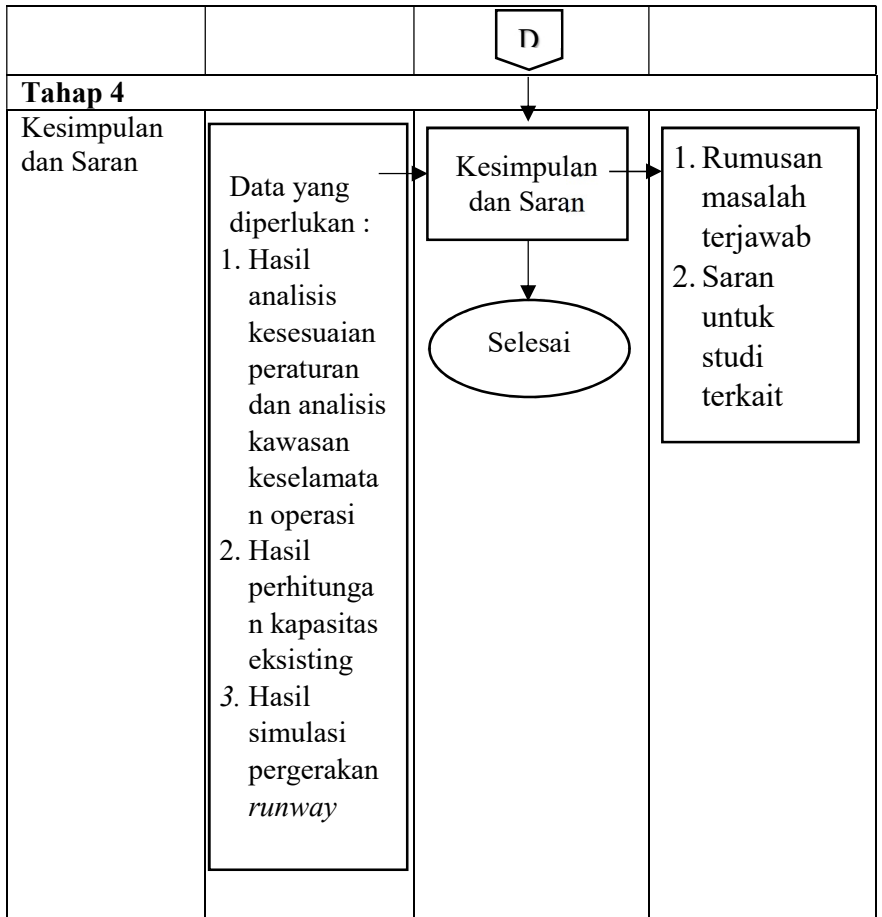
Berikut diagram alir penyelesaian tugas akhir untuk memudahkan dalam pengerjaan tugas akhir ini :











Dari diagram alir diatas dapat dijelaskan metodologi penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

3.2 Identifikasi Masalah

Metodologi pada proses pengerjaan Tugas Akhir dibutuhkan untuk menyusun kerangka pengerjaan agar dalam pelaksanaan studi dapat dilakukan dengan mudah, sehingga dapat memecahkan masalah sesuai dengan langkah-langkah yang ditetapkan. Langkah awal dalam memecahkan masalah yaitu perlunya mengidentifikasi masalah yang akan dibahas apakah permasalahan tersebut perlu untuk dikaji dan dapat memberikan manfaat dalam penyelesaian masalah tersebut.

3.3 Studi Literatur

Studi literatur dalam tugas akhir ini didapatkan dari referensi berupa jurnal penelitian baik dari dalam maupun luar negeri, tugas akhir terdahulu, buku-buku mengenai perencanaan bandar udara seperti *Airport Planning and Design* oleh Herenjoff, peraturan-peraturan mengenai teknis kebandarudaraan SKEP 77-VI-2005, FAA, ICAO Annex 14, dan lain lain.

3.4 Pengumpulan Data

Data yang dibutuhkan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini berupa data sekunder, data-data sekunder yang dibutuhkan adalah sebagai berikut :

3.4.1 Jadwal Kedatangan dan Keberangkatan Pesawat

Rencana pengambilan data dilakukan selama 7 hari pada bulan dengan data penerbangan terpadat di tahun 2019. Data jadwal keberangkatan dan keberangkatan pesawat diambil dari website <https://www.flightstat.com/>. Detail data yang didapat yaitu sebagai berikut :

- a. Jumlah pergerakan pesawat

Setelah didapat jadwal kedatangan dan keberangkatan selama seminggu, diambil satu hari dengan jumlah pergerakan pesawat terbesar.

b. Jenis Pesawat

Jenis-jenis pesawat yang melakukan kedatangan dan keberangkatan di Bandara Internasional Soekarno-Hatta sesuai dengan pergerakan pesawat di jadwal kedatangan dan keberangkatan yang diambil.

3.4.2 Data Geometrik Sisi Udara Eksisting Bandara

Informasi mengenai *runway*, *taxiway*, dan apron eksisting saat ini pada bandara Internasional Soekarno-Hatta.

1. Data *Runway*

Informasi umum yang berkaitan dengan *runway* eksisting dimana saat ini bandara Internasional Soekarno-Hatta sudah memiliki tiga *parallel runway* yang diresmikan pada Agustus 2018. Data *runway* yang diambil hanya data yang berkaitan dengan *runway* dua dan tiga saja.

- **Sistem *Runway***

Beberapa faktor yang memengaruhi konfigurasi *runway* yaitu :

- a. Perbedaan kapasitas maksimum
- b. Perbedaan arah dan kecepatan maksimum
- c. Kelengkapan alat bantu navigasi

- **Konfigurasi *Runway***

Terdapat beberapa konfigurasi *runway*. Pada umumnya konfigurasi yang digunakan merupakan konfigurasi dasar (Horonjeff, 2010), yaitu :

- a. *Single Runway (Runway Tunggal)*

Konfigurasi ini merupakan konfigurasi yang paling sederhana seperti terlihat pada Gambar 2.1. Diperkirakan kapasitas per jam dari *runway* tunggal dalam kondisi VFR

adalah berkisar di antara 50 sampai 100 operasi per jam, sedangkan dalam kondisi IFR, kapasitas ini berkurang menjadi 50 sampai 70 operasi per jam tergantung pada komposisi campuran pesawat terbang dan alat bantu navigasi yang tersedia.

b. *Parallel Runway (Runway Sejajar)*

Kapasitas konfigurasi *runway* sejajar ini tergantung pada jumlah *runway* dan pemisahan jarak antar *runway*. Jumlah *runway* sejajar yang biasa digunakan adalah dua *runway* sejajar, tiga, dan empat *runway* sejajar. Jarak antar *runway* dibagi menjadi tiga dan bergantung pada garis tengah pemisah antara dua *runway* :

1. *Close (Berdekatan)*

Runway sejajar *close* (berdekatan) dipisahkan dengan jarak minimum 700 ft (213 m) sampai dengan kurang dari 2500 ft (1.067m). Pada kondisi IFR, pergerakan pesawat di satu *runway* bergantung pada pergerakan di *runway* lainnya.

2. *Intermediate (Menengah)*

Runway sejajar *intermediate* (menengah) dipisahkan dengan jarak antara 2500 ft (762m) sampai dengan kurang dari 4.300 ft (1.310 m). Pada kondisi IFR, pergerakan kedatangan (*landing*) pesawat tidak bergantung pada pergerakan keberangkatan (*take-off*) pesawat di *runway* lainnya.

3. *Far (Berjauhan)*

Runway sejajar *far* (berjauhan) dipisahkan setidaknya dengan jarak 4.300 ft (1.310 m). Pada kondisi IFR, dua *runway* dapat dioperasikan tanpa bergantung pada satu sama lain, baik untuk kedatangan maupun keberangkatan pesawat

c. *Intersecting Runway (Runway Menyilang)*

Bandar udara yang memiliki dua atau lebih *runway* dengan arah berbeda yang saling menyilang satu sama lain,

konfigurasi ini disebut *intersecting runway* (*runway* bersilangan). *Runway* bersilangan diperlukan jika angin yang bertiup lebih dari satu arah, yang akan menghasilkan hembusan. Tiupan berlebih bila *runway* hanya mengarah ke satu arah. Pada saat angin bertiup kencang ke satu arah maka hanya satu dari dua *runway* bersilangan yang dapat digunakan. Hal ini memang mengurangi kapasitas dari *runway*, tetapi masih lebih baik daripada tidak ada pesawat sama sekali yang bisa mendarat di *runway*. Jika angin bertiup lemah maka kedua *runway* dapat dipergunakan secara bersamaan. Kapasitas dari dua *runway* bersilangan ini bergantung sepenuhnya dibagian *runway* tersebut bersilangan, serta cara dan strategi *runway* untuk *take-off* dan *landing*. Semakin jauh persilangan yang terjadi dari area *take-off runway* dan *landing threshold*, semakin rendah kapasitasnya. Kapasitas terbesar tercapai ketika persilangan berada dengan *take-off* dan *landing threshold*.

d. *Open-V Runway* (*Runway* Terbuka “V”)

Runway “V” terbuka merupakan beberapa *runway* yang ditempatkan dengan arah berbeda, yang satu sama lain tidak saling berpotongan/bersilangan. Serupa dengan *runway* yang berpotongan (*intersecting runway*), *runway* “V” terbuka menggunakan *runway* tunggal ketika angin yang bertiup kuat hanya ke satu sisi. Ketika angin bertiup lemah, kedua *runway* dapat digunakan secara bersamaan. Strategi yang menghasilkan kapasitas terbesar adalah ketika operasi semakin menjauh dari V dan ini dinamakan pola menyimpang (*diverging pattern*). Pada kondisi VFR, kapasitas per jam dengan strategi ini berkisar antara 60-180 pergerakan pesawat per jam dan pada kondisi IFR, kapasitas antara 50-80 pergerakan pesawat per jam. Ketika operasi mendekati V, pola ini dinamakan pola memusat (*converging pattern*), dan kapasitas berkurang menjadi 50-100 pergerakan pesawat per

jam pada kondisi VFR dan antara 50-60 pergerakan pesawat per jam pada kondisi IFR.

- **Panjang Runway**

Dalam menentukan panjang *runway* untuk menunjang pesawat yang akan mendarat tergantung dari:

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

$$F_e = 1 + 0,007 \times \left(\frac{h}{300}\right) \quad \dots\dots\dots(3.1)$$

Dimana Faktor Koreksi Elevasi (Fe) ; Aerodrome Elevasi (h)

- b. Temperatur, ARFL bertambah 1% setiap kenaikan 1°C

$$F_t = 1 + (0,01 \times (T - 0,0065xh)) \quad \dots\dots\dots(3.2)$$

Dimana Faktor Temperatur (FT) ; Temperatur Aerodrome Elevasi (T)

- c. Kemiringan landas pacu, ARFL bertambah 10% setiap pertambahan kemiringan

$$F_s = 1 + (0,1 \times S) \quad \dots\dots\dots(3.3)$$

Dimana Faktor Koreksi kemiringan (Fs) ; kemiringan (S)

- d. Panjang *runway* yang dibutuhkan (terkoreksi)

$$\text{Panjang runway} = \text{ARFL} \times F_e \times F_t \times F_s \quad \dots\dots\dots(3.4)$$

(Sumber : SKEP 77-VI-2005 Dirjen Perhubungan)

- **Lebar *Runway***

Lebar landasan pacu sudah ditentukan dengan standar ICAO seperti pada tabel berikut:

Tabel 3.1 Lebar *Runway* Minimum

Code Number	Code Letter					
	A	B	C	D	E	F
1a	18 m	18 m	23 m	-	-	-
2	23 m	23 m	30 m	-	-	-
3	30 m	30 m	30 m	45 m	-	-
4	-	-	45 m	45 m	45 m	60

Catatan :

- 1a. Lebar *runway* dapat dikurangi hingga 15 m atau 10 m tergantung dari luas yang dibatasi pada pesawat jenis kecil / small aeroplane
2. Pengoperasian yang diijinkan untuk pesawat *landing* atau *take off* dimana lebar *runway* harus lebih kecil atau lebih panjang daripada minimum lebar yang sesuai dengan *code letter* pesawat.

- **Parallel *Runways***

Parallel *runway* disediakan oleh Aerodrome operator harus berkonsultasi ke Direktorat Jenderal Perhubungan Udara berkenaan pada prosedur ruang udara dan pelayanan lalu lintas dengan pengoperasian beberapa *runway*.

- a. Parallel non instrumen *runway* yang tersedia dan digunakan secara bersamaan (simultan), minimum *separation distance* antara *runway centeline* tidak boleh kurang dari:
 - 210 m dimana *code number runway* tertinggi adalah 3 atau 4
 - 150 m dimana *code number runway* tertinggi adalah 2
 - 120 m dimana *code number runway* tertinggi adalah 1

- b. Parallel instrumen *runway* yang tersedia dan digunakan secara bersamaan (simultan), *minmum separation distance* antar *runway centerline* tidak boleh kurang dari:
 - Untuk *independent parallel approaches*, 1.035 m
 - Untuk *dependant parallel approaches*, 915 m
 - Untuk *independent parallel departures*, 760 m
 - Untuk *segregated parallel operation*, 760 m

2. Data Exit Taxiway

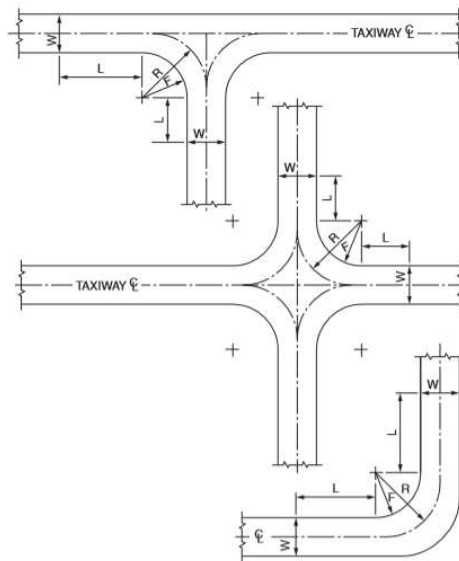
Beberapa ketentuan *taxiway* dan *exit taxiway* yaitu :

- a. *Exit taxiway* perlu dirancang untuk meminimalisasi waktu penggunaan *runway* yang diperlukan oleh pesawat yang mendarat. *Rapid end taxiway* yang terletak di bagian ujung landas pacu dirancang dengan sudut kemiringan 25° hingga 45° dari sudut landas pacu untuk digunakan oleh pesawat keluar meninggalkan *runway* dalam kecepatan tinggi. *Taxiway* harus dirancang sedemikian rupa sehingga dapat meminimalkan jarak antara terminal dan bagian ujung landas pacu.
- b. *Exit taxiway* atau *turnoff* adalah jenis *taxiway* yang diletakkan menyudut pada beberapa bagian dari landas pacu sebagai sarana bagi pesawat untuk dengan segera meninggalkan *runway* sehingga *runway* bisa dengan cepat digunakan lagi oleh pesawat lainnya
- c. Lebar *taxiway* sebesar 30 m dengan lebar bahu 10 m untuk mengamankan mesin dari pesawat yang lebih besar.
- d. Kemiringan memanjang dan melintang *taxiway* dirancang untuk menghindarkan *taxiway* dari bahaya banjir akibat hujan selain penempatan lubang in let drainase tiap 50 m panjang. Data-data yang diperhatikan dalam verifikasi *taxiway* meliputi *Taxiway Designation*, *Dimension (Length, Width)*, *Longitudinal Slope*, *Transverse Slope*, *Surface Type*, *Strength* dan *Taxiway Marking* yang antara lain *Taxiway Centre Line Marking*, *Runway Holding Position Marking*, dan *Taxiway Edge Marking*

Menurut Horonjeff (Planning and Design of Airports, 2010) terdapat 2 jenis *exit taxiway* yang terhubung dengan *runway* secara paralel, yaitu:

a. *Exit taxiway* dengan sudut menyiku

Exit taxiway dengan sudut menyiku digunakan bandar udara dengan lalu lintas rencana yang tidak padat. *Exit taxiway* jenis ini terkadang tidak dikehendaki apabila ditinjau dari segi efisiensi pemakaian *runway*. *Exit taxiway* dengan sudut menyiku ditunjukkan pada Gambar 2.5 dibawah ini.

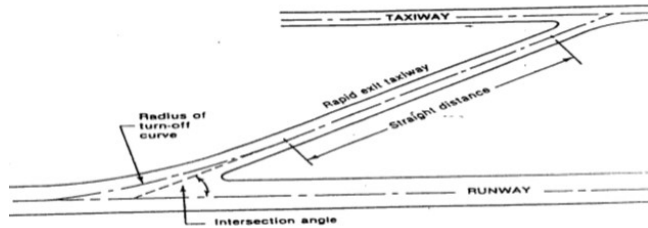


Gambar 3.1 Konfigurasi exit taxiway dan persimpangan
(Sumber: Horonjeff, McKelvey, Sproule, & Young, 2011)

b. *Rapid exit taxiway*

Rapid exit taxiway dibangun pada bandar udara dengan pergerakan pesawat yang padat. Jenis *exit taxiway* ini digunakan agar pesawat dapat secepatnya meninggalkan *runway* agar *runway* dapat digunakan oleh pesawat lainnya

untuk lepas landas. Sudut persilangan antara as *runway* dan as *taxiway* tidak boleh melebihi 45° dan tidak boleh kurang dari 25° . Sudut yang umumnya digunakan adalah sudut 30° seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.2



Gambar 3.2 Penampang jari-jari taxiway
(Sumber: SKEP 77-VI-2005 Dirjen Perhubungan)

- **Dimensi**

Desain dari *taxiway* harus memiliki faktor keamanan yang diizinkan karena pergerakan pesawat sangat cepat, ketika *cockpit* menuju *taxiway* yang diperhatikan garis tengah dari *taxiway*, jarak diantaranya harus terbebas dari hambatan terutama yang diluar roda pesawat dan ujung dari *taxiway*, nilai minimum yang diberikan seperti dalam tabel berikut :

Tabel 3.2 Dimensi Taxiway

Code Letter	Penggolongan Pesawat	Lebar Taxiway (m)	Jarak bebas minimum dari sisi luar roda utama dengan tepi <i>taxiway</i> (m)
A	I	7.5	1.5
B	II	10.5	2.25
C	III	15 ^A	3 ^A
		18 ^B	4.5 ^B
D	IV	18 ^C	4.5
		23 ^D	

Tabel 3.2 Dimensi (Lanjutan)

E	V	25	4.5
F	VI	30	4.5

(Sumber : SKEP 77-VI-2005 Dirjen Perhubungan)

Keterangan :

- Bila *taxiway* digunakan pesawat dengan roda dasar kurang dari 18 m.
- Bila *taxiway* digunakan pesawat dengan seperempat roda dasar lebih dari 18 m.
- Bila *taxiway* digunakan pesawat dengan roda putaran kurang dari 9 m.
- Bila *taxiway* untuk pesawat dengan seperempat roda putaran lebih dari 9 m.

- ***Taxiway Shoulders***

Taxiway harus dilengkapi dengan luasan simetris bahu pada setiap sisi dari *taxiway*, jadi lebar dari keseluruhan *taxiway* dan bahu pada bagian lurus minimum seperti pada tabel berikut :

Tabel 3.3 Taxiway Shoulders Minimum

Code Letter	Penggolongan Pesawat	Lebar Minimum Bahu <i>Taxiway</i> Pada Bagian Lurus (M)
A	I	25
B	II	25
C	III	25
D	IV	38
E	V	44
F	VI	60

(Sumber : SKEP 77-VI-2005 Dirjen Perhubungan)

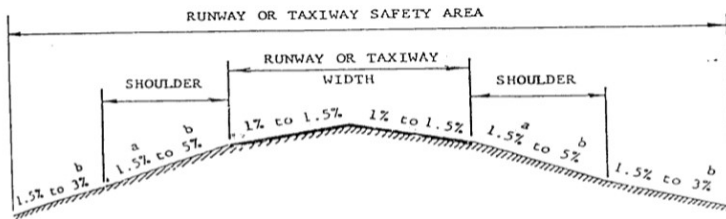
- ***Taxiway Longitudinal Slope***

Dalam menentukan emiringan memanjang *taxiway* maksimum dapat dilihat pada tabel dan gambar berikut :

Tabel 3.4 *Taxiway Longitudinal Slope*

Code Letter	Penggolongan Pesawat	Kemiringan Memanjang (%)	Perubahan Maximum Kemiringan (%) (M)	Jari-Jari Peralihan Minimum (M)
A	I	3	1 per 25	2500
B	II	3	1 per 25	2500
C	III	1,5	1 per 30	3000
D	IV	1,5	1 per 30	3000
E	V	1,5	1 per 30	3000
F	VI	1,5	1 per 30	3000

(Sumber : SKEP 77-VI-2005 Dirjen Perhubungan)

**Gambar 3.3** Kemiringan Memanjang *Taxiway*

(Sumber : SKEP 77-VI-2005 Dirjen Perhubungan)

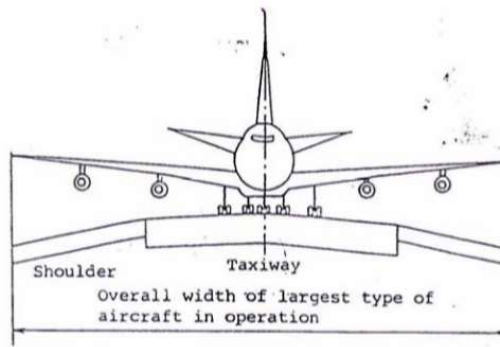
- ***Transverse Slope***

Kemiringan melintang pada *taxiway* juga perlu diperhatikan karena kemiringan melintang *taxiway* harus cukup memadai untuk mencegah penambahan air dan tidak kurang dari 1%. Nilai maksimum dari kemiringan *taxiway* dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 3.5 Kemiringan Melintang Maksimum *Taxiway*

Code Letter	Penggolongan Pesawat	Kemiringan Melintang (%)
A	I	2
B	II	2
C	III	1,5
D	IV	1,5
E	V	1,5
F	VI	1,5

(Sumber : SKEP 77-VI-2005 Dirjen Perhubungan)



Gambar 3.4 Penampang Kemiringan Melintang
(Sumber : SKEP 77-VI-2005 Dirjen Perhubungan)

3. Marking

Saat melakukan pendaratan pesawat pada landasan, pilot dibantu dengan adanya tanda-tanda garis dan nomor dibuat pada perkerasan landasan dan *taxiway* yang disebut dengan *marking*. *Marking* ini hanya berguna pada siang hari, sedangkan malam hari fungsi *marking* digantikan oleh sistem perlampuan.

Warna *marking* harus mencolok terhadap sekitarnya. Biasanya warna yang dipakai yaitu warna putih pada landasan *runway* dan warna kuning untuk *taxiway* dan apron.

a. *Marking Runway*

Pada dasarnya *marking runway* dibagi menjadi 3, yaitu :

1. *Runway* dengan pendekatan presisi
2. *Runway* dengan pendekatan non presisi
3. *Runway* dengan non instrumen

Landasan non presisi diperasikan dibawah VFR (Visual Flight Rules). Landasan dengan pendekatan non presisi, adalah landasan yang dibantu dengan peralatan VOR (Very High Frkwensi Omny Radio Range) bagi pesawat yang mendarat ke landaan dengan VOR sebagai pedoman. Landasan instrumen presisi adalah landasan yang diperlengkapi dengan ILS (Instrument *Landing System*).

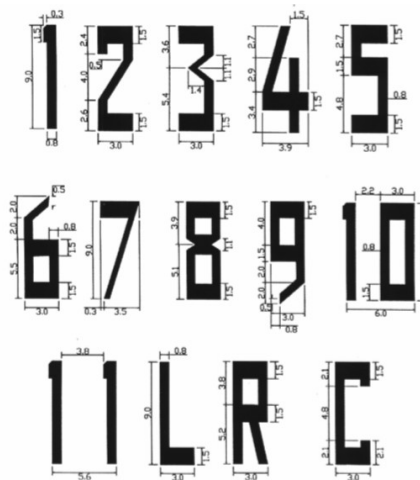
Macam-macam *marking* sebagai alat bantu navigasi pendaratan sebagai berikut :

- Nomor Landasan (*Runway Designation Markung*)

Ditempatkan di ujung landasan sebagai nomor pengenalan landasan itu, terdiri dari dua angka, pada landasan sejajar harus dilengkapi dengan huruf L atau R atau C.

Dua angka tadi merupakan angka persepuluhan terdekat dari utara magnetis dipandang dari arah approach, ketika pesawat akan mendarat. Misal landasan dengan azimuth magnetis 86 nomor landasan 09.

Dua landasan sejajar diberi nomor landasan 09-27 dilengkapi dengan huruf L (*Left*) atau R (*Right*). Tiga landasan sejajar yang tengah ditambahi huruf C (*Central*). Empat landasan sejajar disamping diberi tambahan huruf sepasang landasan sejajar digeser satu nomor. Misal pasangan 09-27 dengan 08-28, walaupun arahnya 09-27.



Gambar 3.5 Ukuran-ukuran dan bentuk angka untuk *marking* nomor landasan
(Sumber : SNI 03-7095-2005)

- *Marking* Sumbu Landasan

Ditempatkan sepanjang sumbu landasan berawal dan berakhir pada nomor landasan, kecuali pada landasan yang bersilangan, landasan yang lebih dominan, sumbunya terus, yang kurang dominan, sumbunya diputus.

Merupakan garis putus-putus, panjang garis dan panjang pemutusan sama. Panjang strip bersama gapnya tidak boleh kurang dari 50 m, tak boleh lebih dari 75 m. panjang strip sama dengan panjang gap atau 30 m mana yang terbesar. Garis berjarak 12 m dari nomor landasan. Lebar *marking runway center line* harus :

- 0,3 m untuk semua *runway* non instrumen dan pendekatan *runway* instrumen non-presisi kode adalah 1 atau 2;
- 0,45 m untuk pendekatan *runway* instrumen non-presisi kode 3 atau 4, kategori I untuk pendekatan

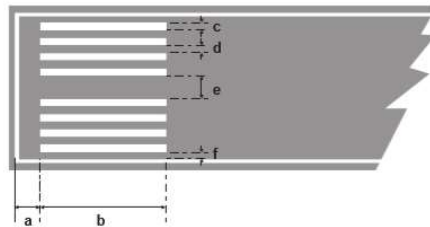
runway presisi kode 3 atau 4, kategori I untuk pendekatan *runway* presisi.

b. *Marking Threshold*

Ditempatkan di ujung landasan, sejauh 6 m dari tepi ujung landasan membujur landasan, pajag paling kurang 30 m, lebar 1,8 m dan jarak (celah) kdua sisi strip antara 2,5 m – 3,6 m, serta jarak tepi luar strip terhadap tepi dalam *runway* side strip *marking* minimal 0,2 m. Banyaknya strip tergantung lebar landasan dapat dilihat pada tabel dan contoh gambar threshold dapat dilihat pada gambar 3.6.

Tabel 3.6 Ukuran *Threshold Marking*

No.	Lebar <i>runway</i>	Banyaknya Stripe	Banyaknya Celah	f (m)	
				e – min = 2,6 m	e max = 3,6 m
1	18	4	2	1,85	1,34
2	23	6	4	0,75	0,25
3	30	8	6	0,5	-
4	45	12	10	0,5	-
5	60	16	14	0,8	0,3



Keterangan:

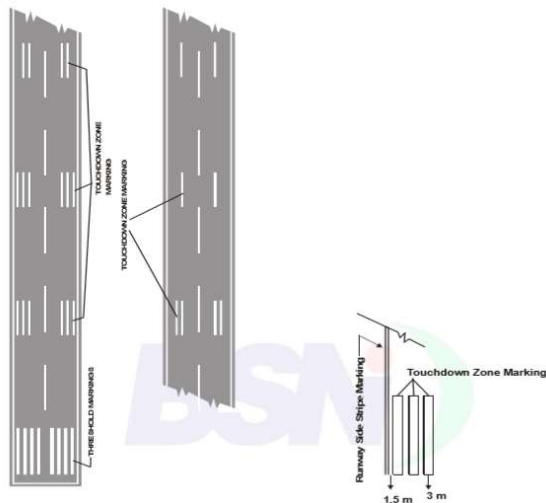
- a : Jarak stripe dari awal *runway* = 6 m
- b : Panjang stripe = 30 m
- c : Lebar stripe threshold = 1,8 m
- d : Jarak antar stripe pada sisi stripe = 1,8 m
- e : Jarak (celah) kedua sisi stripe = 2,6 – 3,6 m
(tidak kurang dari 2,6 m atau tidak lebih dari 3,6 m)
- f : Jarak tepi luar stripe terhadap tepi dalam *runway* side stripe *marking* min 0,20 m

Gambar 3.6 Bentuk *threshold marking*
(Sumber: SNI 03-7095-2005)

c. Touchdown Zone Marking

Dipasang pada landasan dengan approach presisi tapi juga bisa dipasang pada landasan non-presisi atau landasan non-instrumen yang lebar landasannya lebih dari 23 m.

Terdiri dari pasangan-pasangan berbentuk segi empat di kanan kiri sumbu landasan lebar 3 m dan panjang 22,5 m untuk strip tunggal, untuk strip ganda ukuran 22,5 m x 1,8 m dengan jarak 1,5 m. Jarak satu sama lain 150 m diawali dari threshold banyaknya pasangan tergantung panjang landasan.



Gambar 3.7 Bentuk dan jarak *touchdown zone marking*
(Sumber: SNI 03-7095-2005)

Keterangan :

- Panjang stripe : 22,5 m
- Lebar stripe : 3 m
- Jarak antar stripe : 1,5 m
- Jarak antar *threshold* : 150 m

- Jarak *stripe* dari pinggir *runway* : 1,5 m
- Jarak antar *touchdown* : 150 m
- *Touchdown zone marking* terdiri dari sepasang tanda yang jumlah masing-masing sesuai dengan tabel 3.7

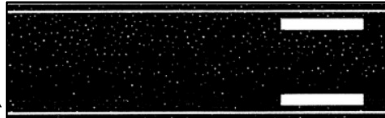
Tabel 3.7 Jumlah masing-masing pada *touchdown zone marking*

<i>Landing distance available or the distance between threshold</i>	Pair (s) of Marking	Jumah Garis
< 900 m	1	Satu
900 – 1199 m	2	Dua, Satu
1200 m – 1499 m	3	Dua, Satu, Satu
1500 – 2399 m	4	Dua, Dua, Satu, Satu
> 2400 m	6	Tiga, Tiga, Dua, Dua, Satu, Satu

(Sumber: SNI 03-7095-2005)

d. Aiming Point Marking

Tanda di *runway* yang terdiri dari dua garis lebar berwarna putih, yang berfungsi untuk menunjukkan tempat pertama roda pesawat udara diharapkan menyentuh *runway*. Gambar dari *Aiming Point Marking* dapat dilihat pada gambar 3.8



Gambar 3.8 Aiming Point Marking

(Sumber: SKEP/11/I/2001)

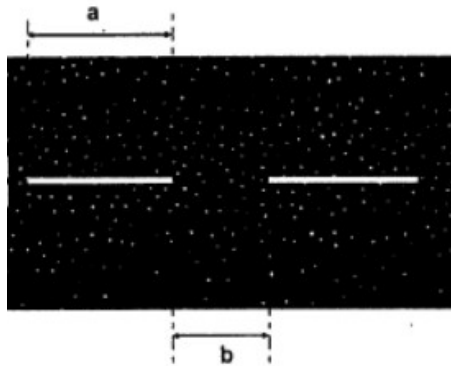
Tabel 3.8 Letak dan Ukuran Aiming Point Marking

Lokasi dan Dimensi	Panjang Runway Kurang dari 800m	Panjang Runway 800m s/d 1199m	Panjang Runway 1200m s/d 2399m	Panjang Runway 2400m atau lebih
Jarak dari Threshold	150m	250m	300m	400m
Panjang Stripe	30m-45m	30m-45m	45m-60m	45m-60m
Lebar	4m	6m	6m-10m	6m-10m
Jarak Spasi antar stripe bagian dalam	6m	9m	16m-22,5m	16m-22,5m

(Sumber: SKEP/11/I/2011)

e. Runway Centre Line Marking

Merupakan tanda berupa garis putus-putus berwarna putih yang letaknya di tengah-tengah sepanjang *runway*, yang berfungsi sebagai petunjuk garis tengah *runway*.

**Gambar 3.9** Runway Centre Line Marking

(Sumber: SKEP/11/I/2011)

Tabel 3.9 Keterangan Runway Centre Line Marking

Keterangan		Ukuran
Panjang	a + b	= 50m s/d 75m
Lebar	Precision Runway (Category 2&3)	= 0,9m
	Precision Approach Cat. 1	= 0,45m
	Non Instrumen	= 0,3m
	Non Precision Runway (Code 3&4)	= 0,45m
	Non Precision Runway (Code 1&2)	= 0,3m

(Sumber: SKEP/11/I/2011)

3.4.3 Analisa Angin

Dalam merencanakan arah *runway* sangatlah penting menganalisa bagaimana angin yang ada pada daerah bandara, karena analisa angin merupakan hal dasar bagi perencanaan lapangan terbang. Untuk landasan pada lapangan terbang arahnya harus sedemikian rupa sehingga searah dengan arah angin dominan. Ketika melakukan pendaratan dan lepas landas, pesawat dapat mengadakan manuver sejauh komponen angin samping atau *crosswind* tidak berlebihan. Maksimum *crosswind* yang diizinkan tergantung bukan saja pada ukuran pesawat, tetapi juga kepada konfigurasi sayap dan kondisi perkerasan landasan.

Penyelidikan angin dilakukan paling sedikit 5 tahun. Data yang diperlukan adalah arah angin, kecepatan atau kekuatan angin bertiup, lamanya angin betiup. Apabila nilai *crosswind* maksimum yang diijinkan telah ditetapkan, maka arah *runway* dapat ditentukan dengan mengamati karakteristik angin pada kondisi-kondisi berikut :

1. Keseluruhan angin yang melingkupi tanpa memperhatikan visibility atau kondisi berawan, mewakili keseluruhan kondisi dari bagus ke terburuk.
2. Apabila cuaca mendung dengan setinggi 1000 ft dan visibility sejauh 3 mil, mewakili cuaca sedang ke buruk.
3. Apabila cuaca mendung dengan setinggi 200 – 1000 ft dan visibility sejauh ½ - 3 mil, mewakili cuaca buruk.

Selain berkaitan dengan arah *runway*, analisa angin juga perlu dipertimbangkan pada perencanaan suatu *taxiway*. Adanya angin

yang bertiup pada *taxiway* akan berpengaruh pada laju pesawat saat melewati *taxiway*, karena angin yang bertiup dapat menyebabkan collapse pada pesawat akibat angin yang bertiup mengenai ekor pesawat dimana ekor pesawat merupakan pusat kendali dalam mengatur pesawat untuk berbelok. Jika ekor pesawat terkena angin terlalu kuat, maka pesawat dapat tergelincir keluar dari daerah *taxiway*

1. Pengumpulan Data Angin

Sebelum melakukan analisis diperlukan data angin untuk pengolahan data. Data angin yang digunakan yaitu minimum data 5 tahun yang diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) atau instansi disekitar bandara yang memiliki stasiun untuk pengukuran angin. Data yang digunakan dalam tugas akhir ini didapatkan dari website <http://dataonline.bmkg.go.id> yang merupakan aplikasi layanan dari BMKG untuk pengguna baik untuk kalangan internal BMKG maupun eksternal dari perguruan tinggi, Institusi Kementrian/Lembaga, Swasta, dan Masyarakat. Untuk mendapatkan data angin dengan cara sebagai berikut :

1. Membuka website dengan alamat website berikut <http://dataonline.bmkg.go.id/home> . Maka akan muncul tampilan awal sebagai berikut:



Gambar 3.10 Tampilan Awal Data Online BMKG

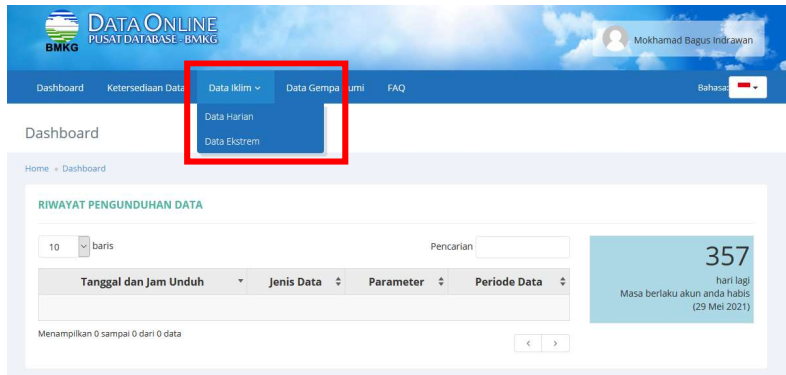
2. Kemudian masuk ke aplikasi dengan memasukkan email dan password. Email dan password harus didaftarkan terlebih dahulu jika belum mempunyai akun.

Gambar 3.11 Halaman Login

3. Setelah login, maka akan muncul tampilan seperti berikut

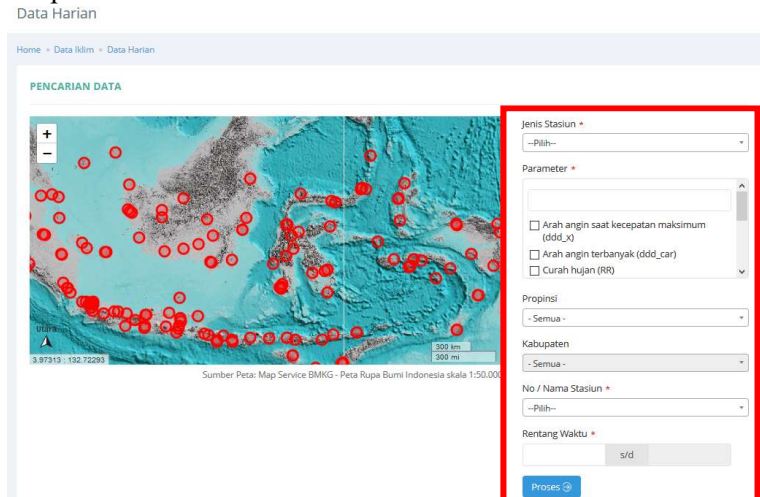
Gambar 3.12 Halaman Awal Dashboard BMKG Data Online

4. Pilih “Data Iklim” dan pilih “Data Harian” untuk memperoleh data angin.



Gambar 3.13 Menu Pemilihan Data Iklim

5. Setelah itu akan muncul laman pemilihan Data Harian. Lalu pilih informasi data angin yang dibutuhkan pada bagian kanan tampilan



Gambar 3.14 Laman Pemilihan Data Harian

6. Untuk jenis stasiun dipilih “UPT”, untuk parameter dipilih “Arah angin saat kecepatan maksimum, arah angin terbanyak,

kecepatan angin rata-rata dan kecepatan angin maksimum”. Sedangkan untuk lokasi disesuaikan dengan lokasi studi Bandara Internasional Soekarno-Hatta yaitu di Tangerang, Banten dengan Stasiun Meteorologi Soekarno-Hatta. Kemudian pilih rentang waktu data yang diinginkan, rentang data waktu yang dapat dipilih yaitu satu bulan. Kemudian pilih “Proses”.



The image shows a web form with the following fields and options:

- Jenis Stasiun ***: Dropdown menu with "UPT" selected.
- Parameter ***: A scrollable list with three items:
 - Arah angin saat kecepatan maksimum (ddd_x)
 - Arah angin terbanyak (ddd_car)
 - Curah hujan (RR)
- Propinsi**: Dropdown menu with "Banten" selected.
- Kabupaten**: Dropdown menu with "Kota Tangerang" selected.
- No / Nama Stasiun ***: Dropdown menu with "96749 - Stasiun Meteorologi Soekarno Hatta" selected.
- Rentang Waktu ***: Date range selector with "01-01-2020" in the first box, "s/d" in the middle, and "31-01-2020" in the second box.
- Proses**: A blue button with a right-pointing arrow, highlighted with a red rectangle.

Gambar 3.15 Pemilihan Informasi Data Angin yang Dibutuhkan

7. Setelah klik “Proses”, maka akan muncul kotak dialog seperti gambar 4.14. kemudian berikan penilaian mengenai layanan data online yang diberikan. Klik “Kirim” dan pilih jenis file yang dibutuhkan “Excel/pdf”.

ID WMO	96749	Lintang	-6.12000
Nama Stasiun	Stasiun Meteorologi Soekarno Hatta	Bujur	106.65000
Periode Data	01-01-2020 - 31-01-2020	Elevasi	11

Untuk melakukan pengunduhan data diatas, harap meluangkan waktu untuk memberikan penilaian terhadap layanan DataOnline ini.
(* wajib diisi)


Keterkaitan data dengan pekerjaan anda * ★ ★ ★ ★ ★



Kemudahan akses data * ★ ★ ★ ★ ★

Kelengkapan data * ★ ★ ★ ★ ★

Layanan DataOnline membantu pekerjaan anda * ★ ★ ★ ★ ★

Kritik dan Saran



Gambar 3.16 Pengunduhan Data Angin

8. Tunggu beberapa saat maka data angin akan ter-download dalam bentuk file excel atau pdf sesuai yang dibutuhkan.

	A	B	C	D	E
1		ID WMO	: 96749		
2		Nama Stasiun	: Stasiun Meteorologi Soekarno Hatta		
3		Lintang	: -6.12000		
4		Bujur	: 106.65000		
5		Elevasi	: 11		
6					
7					
8					
9		Tanggal	ff_x	ddd_x	ff_avg
10		01-04-2020	5	320	2
11		02-04-2020	5	300	3
12		03-04-2020	5	240	2
13		04-04-2020	6	350	2
14		05-04-2020	7	240	2
15		06-04-2020	5	260	2
16		07-04-2020	7	300	3
17		08-04-2020	5	20	2
18		09-04-2020	4	30	2
19		10-04-2020	4	270	2
20		11-04-2020	3	190	2
21		12-04-2020	5	30	2
22		13-04-2020	4	80	2
23		14-04-2020	5	30	2
24		15-04-2020	4	340	2
25		16-04-2020	4	360	2
26		17-04-2020	4	340	2
27		18-04-2020	5	320	2

Gambar 3.17 Data Angin Setelah Diunduh Dalam Bentuk Excel

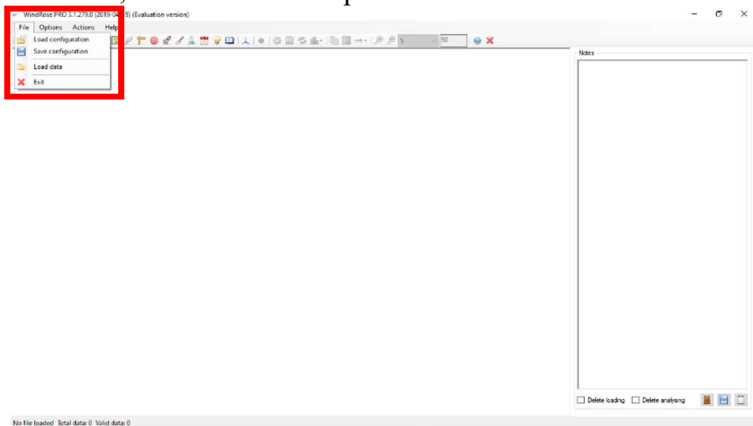
Data angin diatas yaitu data dari tanggal 01 Januari 2014 sampai 31 Januari 2020 atau data dengan rentang waktu 5 tahun

sehingga sudah memenuhi minimum waktu data yang bisa digunakan yaitu 5 tahun. Setelah data angin didapatkan kemudian data diolah berdasarkan kondisi *crosswind* yang terjadi.

2. Pengolahan Data Angin

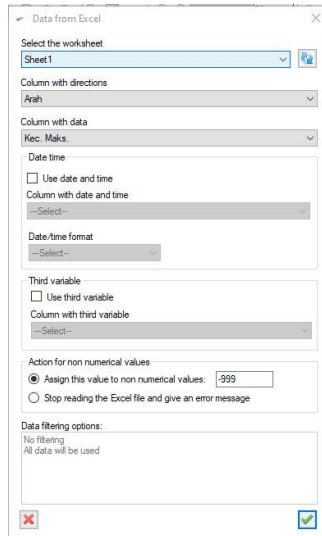
Untuk melakukan pengolahan data angin menggunakan program bantu Windrose Pro yang dapat diunduh dari internet. Langkah-langkah dalam menggunakan program bantu Windrose Pro yaitu sebagai berikut :

1. Melakukan *input* data angin yang sudah dilakukan sebelumnya dengan memasukkan data angin yang terdiri dari kecepatan angin maksimum dan arah angin berupa excel. Pilih “File”, kemduain klik “Open”.



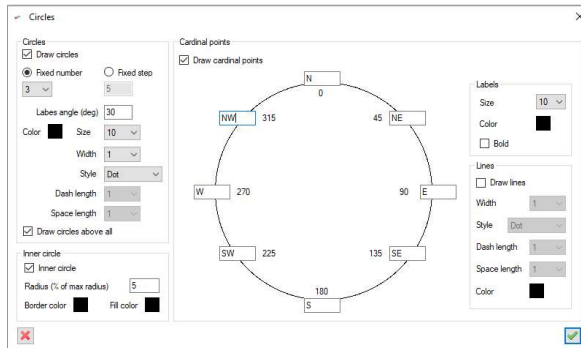
Gambar 3.18 Tampilan Awal dan Input Data

2. Setelah itu akan muncul kotak dialog, dan pilih lokasi file data angin. Untuk kolom “*direction*” masukkan data arah angin, kolom “*data*” masukkan data kecepatan angin. Kemudian klik tanda centang hijau.



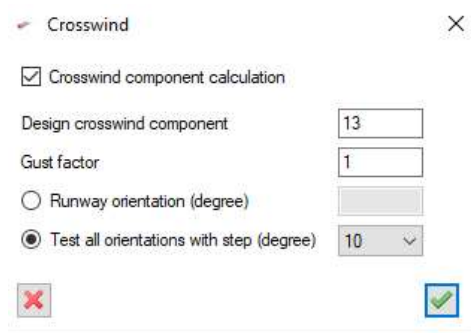
Gambar 3.19 Penginput-an Data

3. Di bagian “Option”, pilih “Circles dan atur lingkaran untuk *windrose*.”



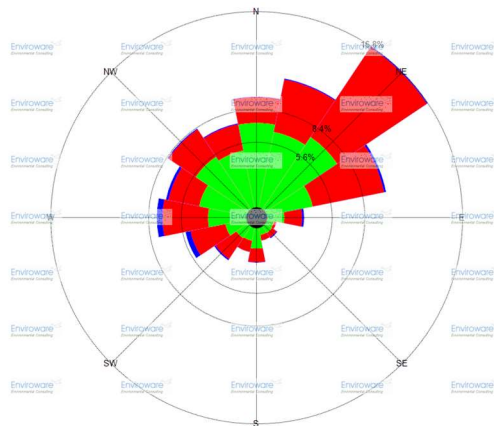
Gambar 3.20 Setting Circle untuk Windrose

- a. Pada kolom “Options”, pilih “Runways” untuk memasukkan besarnya *crosswind* yang sesuai dengan melihat pesawat terkecil didapatkan *crosswind* sebesar 13 knot.



Gambar 3.21 Kotak Dialog *Crosswind*

- b. Untuk melakukan analisis, pada “Actions”, pilih “Analyse”. Untuk menampilkan *windrose* pilih “Draw”.



Gambar 3.22 Hasil Analisis Windrose dengan Windrosepro.

3.4.4 Kawasan Keselamatan Operasi Penerbangan (KKOP)

Menurut SNI 03-7112-2005 fungsi kawasan operasi penerbangan yaitu untuk menjaga keselamatan operasional pesawat udara di sekitar bandar udara, hal yang paling umum dan sangat berkaitan dengan kawasan ini adalah mengenai kondisi

ketinggian bangunan atau halangan lainnya seperti gunung, bukit, pepohonan di sekitar wilayah operasi penerbangan atau bandar udara.

1. Persyaratan Kawasan Keselamatan Operasi Penerbangan

Berdasarkan Standart Nasional Indonesia “Kawasan Keselamatan Operasi Pesawat” tahun 2004. Dalam pembuatan kawasan keselamatan operasi penerbangan di Bandar Udara dan sekitarnya diperlukan data sebagai berikut :

1. Rencana induk Bandar udara atau rencana pengembangan Bandar udara.
2. Rencana pengembangan wilayah dan pengembangan kota jangka panjang untuk lokasi yang bersangkutan.
3. Rencana prosedur dan pengatur lalu lintas udara (air traffic control).
4. Peta topografi.
5. Titik kerangka dasar nasional

2. Analisis Klasifikasi Kawasan Keselamatan Operasi Penerbangan

Klasifikasi landas pacu ditentukan berdasarkan :

- Kelengkapan alat-alat bantu navigasi penerbangan pada bandar udara
 - a. *Instrument precision*
Alat-alat bantu navigasi penerbangan untuk landas pacu yang dilengkapi alat bantu pendaratan *Instrument Landing System (ILS)* dan alat bantu pendaratan visual
 - b. *Instrument non precision*
Alat-alat bantu navigasi penerbangan untuk landas pacu yang dilengkapi dengan alat bantu navigasi penerbangan *Doppler Very High Frequency Directional Omni Range (DVOR)* dan alat bantu pendaratan visual
 - c. *Non instrument*

Alat-alat bantu navigasi penerbangan untuk landas pacu yang dilengkapi dengan alat bantu navigasi penerbangan *Non Directional Beacon* (NDB).

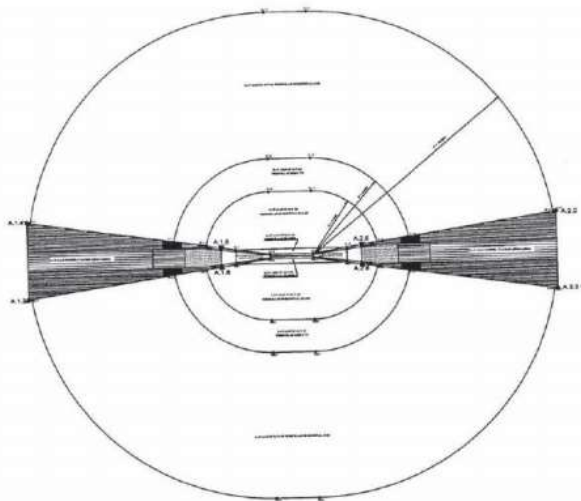
- Dimensi landas pacu
 - a. *Code number 1*
Yaitu Panjang landas pacu kurang dari 800 meter
 - b. *Code number 2*
Panjang landas pacu = 800 meter atau lebih tetapi lebih kecil 1.200 meter
 - c. *Code number 3*
Panjang landas pacu = 1.200 meter atau lebih tetapi lebih kecil 1.800 meter
 - d. *Code number 4*
Panjang landas pacu = 1.800 meter atau lebih

3. Analisis Kawasan Keselamatan Operasi Penerbangan

Penetapan batas-batas kawasan keselamatan operasi penerbangan bandar udara dan sekitarnya dilakukan dengan ketentuan teknis sebagai berikut:

a. Kawasan Pendekatan Lepas Landas (Approach)

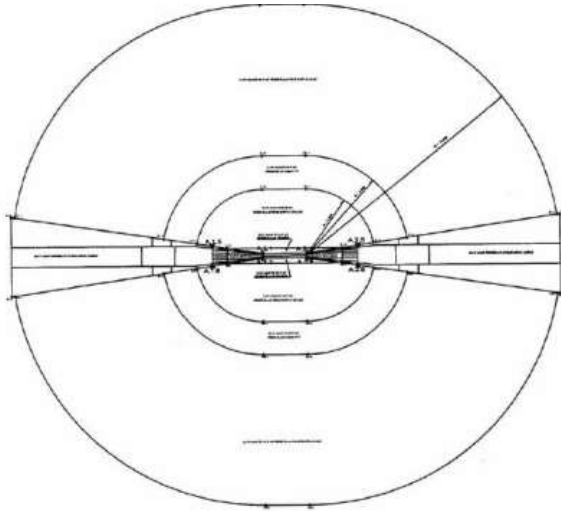
Kawasan ancaman pendaratan dan lepas landas adalah suatu kawasan perpanjangan kedua ujung landas pacu, di bawah lintasan pesawat udara setelah lepas landas atau akan mendarat, yang dibatasi oleh ukuran panjang dan lebar tertentu. Kawasan ini dibatasi oleh tepi dalam yang berhimpit dengan ujung-ujung permukaan utama berjarak 60 meter dari ujung landasan pacu dengan lebar tertentu (sesuai klasifikasi landas pacu) pada bagian dalam, kawasan ini melebar ke arah luar secara teratur dengan sudut pelebaran 10% atau 15% (sesuai klasifikasi landas pacu) serta garis tengah bidangnya merupakan perpanjangan dari garis tengah landas pacu dengan jarak mendarat tertentu dan akhir kawasan dengan lebar tertentu. Kawasan lepas landas dapat dilihat pada gambar



Gambar 3.23 Kawasan Pendekatan Lepas Landas
(Sumber: SNI 03-7112-KKOP,2005)

b. Kawasan Kemungkinan Bahaya Kecelakaan

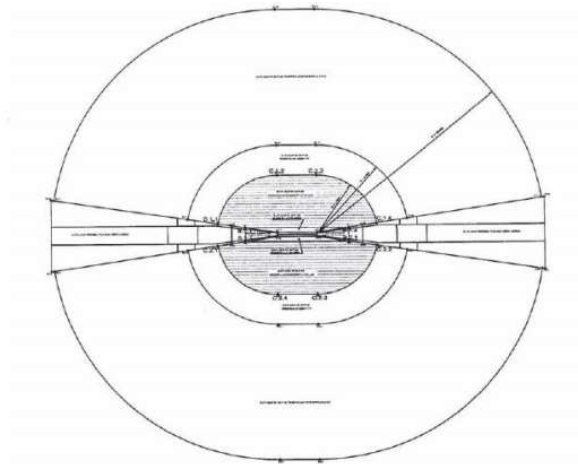
Kawasan kemungkinan bahaya kecelakaan adalah sebagian dari kawasan pendekatan yang berbatasan langsung dengan ujung-ujung landas pacu dan mempunyai ukuran tertentu, yang dapat menimbulkan kemungkinan terjadinya kecelakaan. Kawasan kemungkinan bahaya kecelakaan dibatasi oleh tepi dalam yang berhimpit dengan ujung-ujung permukaan utama dengan lebar 60 meter atau 80 meter atau 150 meter atau 300 meter (sesuai klasifikasi landas pacu), kawasan ini meluas keluar secara teratur dengan garis tengahnya merupakan perpanjangan dari garis tengah landasan pacu sampai 660 meter atau 680 meter atau 1150 meter atau 1200 meter (sesuai klasifikasi landas pacu) dan jarak mendarat 3000 meter dari ujung permukaan utama. kemungkinan bahaya kecelakaan dicontohkan pada gambar



Gambar 3.24 Kawasan Kemungkinan Bahaya Kecelakaan
(Sumber: SNI 03-7112-KKOP,2005)

c. Kawasan di bawah permukaan horizontal dalam

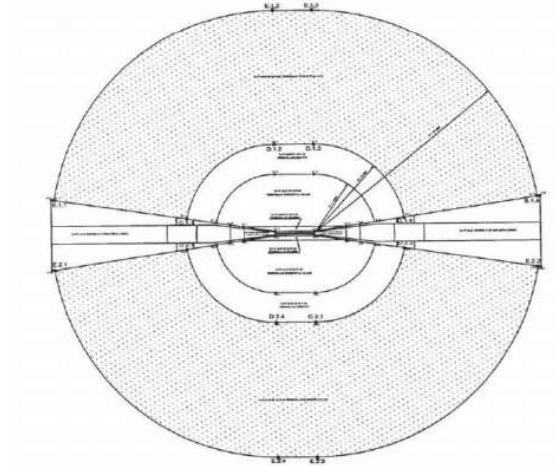
Kawasan di bawah permukaan horizontal dalam adalah bidang datar di atas dan di sekitar bandar udara yang dibatasi oleh radius dan ketinggian dengan ukuran tertentu untuk kepentingan pesawat udara melakukan terbang rendah pada waktu akan mendarat atau setelah lepas landas. Kawasan ini dibatasi oleh lingkaran dengan radius 2000 meter atau 2500 meter atau 3500 meter atau 4000 meter (sesuai klasifikasi landas pacu) dari titik tengah tiap ujung permukaan utama dan menarik garis singgung pada kedua lingkaran yang berdekatan tetapi kawasan ini tidak termasuk kawasan di bawah permukaan transisi. Kawasan di bawah permukaan horizontal dalam dicontohkan pada gambar



Gambar 3.25 Kawasan Di Bawah Permukaan Horizontal Dalam
(Sumber: SNI 03-7112-KKOP,2005)

d. Kawasan di bawah permukaan horizontal luar

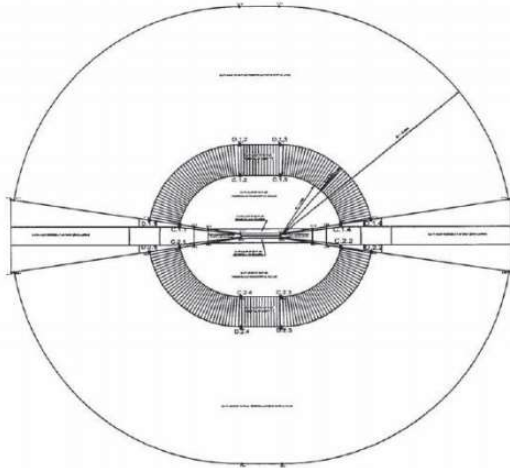
Kawasan di bawah permukaan horizontal luar adalah bidang datar di sekitar bandar udara yang dibatasi oleh radius dan ketinggian dengan ukuran tertentu untuk kepentingan keselamatan dan efisiensi operasi penerbangan antara lain pada waktu pesawat melakukan pendekatan untuk mendarat dan gerakan setelah tinggal landas atau gerakan dalam hal mengalami kegagalan dalam pendaratan. Kawasan ini dibatasi oleh lingkaran dengan radius 15000 meter dari titik tengah tiap ujung permukaan utama dan menarik garis singgung pada kedua lingkaran yang berdekatan tetapi kawasan ini tidak termasuk kawasan di bawah permukaan transisi, kawasan di bawah permukaan horizontal dalam, kawasan di bawah permukaan kerucut. Kawasan di bawah permukaan horizontal luar dicontohkan pada gambar



Gambar 3.26 Kawasan Di Bawah Permukaan Horizontal Luar
(Sumber: SNI 03-7112-KKOP,2005)

e. Kawasan di bawah permukaan kerucut

Kawasan di bawah permukaan kerucut adalah bidang dari suatu kerucut yang bagian bawahnya dibatasi oleh garis perpotongan dengan horizontal dalam dan bagian atasnya dibatasi oleh garis perpotongan dengan permukaan horizontal luar, masing-masing dengan radius dan ketinggian tertentu dihitung dari titik referensi yang ditentukan. Kawasan ini dibatasi dari tepi luar kawasan di bawah permukaan horizontal dalam meluas dengan jarak mendatar 700 meter atau 1100 meter atau 1200 meter atau 1500 meter atau 2000 meter (sesuai klasifikasi landas pacu) dengan kemiringan 5% (sesuai klasifikasi landas pacu). Kawasan di bawah permukaan kerucut dicontohkan pada gambar



Gambar 3.27 Kawasan Di Bawah Permukaan Kerucut
(Sumber: SNI 03-7112-KKOP,2005)

3.5 Perhitungan dan Penyelesaian Tugas Akhir

Setelah data terkumpul, dilanjutkan dengan menganalisa data tersebut untuk mendapatkan variabel-variabel yang dibutuhkan dalam perhitungan simulasi.

3.5.1 Jam Puncak (*Peak Hour*)

Jam puncak merupakan jam dimana pergerakan pesawat terpadat yang diperoleh dari pergerakan pesawat terbanyak kemudian diambil satu jam yang memiliki pergerakan pesawat terbesar. Ada beberapa variabel yang perlu diperhatikan dalam pengolahan data jam puncak yaitu :

a. Kelas Pesawat

Kelas pesawat dikategorikan berdasarkan kecepatan masing-masing pesawat menurut ketentuan pada tabel FAA. Ada beberapa kategori pesawat yaitu *small*, *heavy* atau *large*.

b. Campuran Pergerakan Pesawat

Data campuran pergerakan pesawat yang digunakan yaitu data yang memengaruhi perhitungan kapasitas *runway*, data tersebut berpa persentasi perbandingan antara kedatangan dan keberangkatan saat jam puncak (*peak hour*).

1. Metode Perhitungan Jam Puncak

• Metode JICA

Nilai koefisien permintaan angkutan lalulintas pada jam sibuk (C_p) perlu dirumuskan terlebih dahulu apabila ingin

$$M_d = \frac{M_y}{365} \dots\dots\dots(3.5)$$

$$C_p = \frac{1,38}{\sqrt{M_d}} \dots\dots\dots(3.6)$$

$$M_p = C_p \times M_d$$

menganalisis besarnya penumpang dan pergerakan pada jam sibuk. Menurut Japan International Cooperated Agency (JICA) (1991), mengenai kondisi penerbangan di Indonesia dalam Rahman (2013) digunakan persamaan berikut:

Dimana :

M_y = pergerakan pesawat udara tahunan

M_d = pergerakan pesawat udara harian

C_p = faktor jam puncak

M_p = pergerakan pesawat udara jam puncak

• Metode NPIAS

Besarnya jumlah penumpang jam sibuk pada sebuah bandar udara baru dapat dianalisis dengan menggunakan rumus *National Plan Integrated Airport System* berikut:

$$\text{Average monthly Passenger} = 0,08417 \times \text{annual passenger flow} \dots\dots(3.8)$$

$$\text{Average daily Passenger} = 03226 \times \text{average monthly flow} \dots\dots(3.9)$$

$$\text{Peak-day flow} = 1,26 \times \text{average daily flow} \dots\dots(3.11)$$

$$\text{Peak-hour flow} = 0,0917 \times \text{peak daily flow} \dots\dots(3.11)$$

- **Metode Pignataro**

Untuk mengetahui tingkat pergerakan pesawat maksimum ketika kondisi jam puncak maka perlu dilakukan perhitungan volume jam puncak. Menurut Pignataro (1973), dalam Rahman (2013) berdasarkan data eksisting jumlah rata-rata pergerakan harian dalam satu tahun dan jumlah pergerakan pesawat pada bulan puncak dalam satu tahun, dapat diketahui rasio jumlah pergerakan pesawat bulan puncak terhadap jumlah pergerakan pesawat total satu tahun.

Dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$R_{\text{month}} = \frac{N_{\text{month}}}{N_{\text{year}}} \dots\dots\dots(3.12)$$

Dimana :

R_{month} = *peak* month ratio

N_{month} = jumlah pergerakan total pesawat saat bulan puncak

N_{year} = jumlah pergerakan total pesawat selama satu tahun

Rasio jumlah pergerakan pesawat pada hari puncak terhadap jumlah

pergerakan pesawat bulan puncak adalah :

$$R_{\text{day}} = \frac{N_{\text{day}}}{N_{\text{month}}} \dots\dots\dots(3.13)$$

Dimana :

R_{day} = *peak* day ratio

N_{month} = jumlah pergerakan total pesawat saat bulan puncak
 N_{day} = jumlah pergerakan total pesawat selama satu hari

Rasio jumlah pergerakan pesawat pada jam puncak terhadap jumlah pergerakan pesawat selama satu hari adalah :

$$R_{day} = \frac{N_{hour}}{N_{day}} \dots\dots\dots(3.14)$$

Dimana :

R_{hour} = *peak hour ratio*

N_{hour} = jumlah pergerakan total pesawat saat jam puncak

N_{day} = jumlah pergerakan total pesawat selama satu hari

Untuk memperkirakan jumlah pergerakan pesawat tahun rencana pada kondisi

jam puncak yaitu dengan mengalikan nilai R dengan peramalan jumlah pergerakan harian rata-rata pada bulan puncak tahun rencana :

$$N_{peak} = N_{year} \times R_{month} \times R_{day} \times R_{hour} \dots(3.15)$$

Dimana :

N_{peak} = jumlah pergerakan pesawat pada jam puncak

N_{year} = jumlah pergerakan pesawat pada tahun rencana

R_{month} = *peak month ratio*

R_{day} = *peak day ratio*

R_{hour} = *peak hour ratio*

Dalam perhitungan jam puncak pada pengerjaan tugas akhir ini menggunakan metode pignataro dimana dalam menentukan jumlah pergerakan pesawat pada jam puncak didapat dari jumlah pergerakan pesawat pada tahun rencana dikalikan dengan faktor rasio pergerakan satu tahun, satu bulan, dan satu hari.

3.5.2 Kecepatan Keberangkatan dan Kedatangan Pesawat Rata-Rata

Kecepatan keberangkatan dan kedatangan pesawat rata-rata diperoleh dari nilai rata-rata kecepatan masing-masing tipe pesawat saat jam puncak (*peak hour*).

- *Runway Occupancy Time* (ROT)
Runway Occupancy Time yaitu waktu yang dibutuhkan pesawat dimulai dari *landing* sampai *keluar runway*. Nilai ROT tergantung dari kecepatan pesawat saat *landing* dan letak *exit taxiway* yang digunakan pesawat.

3.5.3 Kategori Pesawat

Menurut ICAO ada 4 macam penggolongan pesawat terbang untuk membedakan pesawat di area terminal, yaitu:

- Light
- Medium
- Heavy
- Superheavy

Sedangkan menurut FAA ada 5 macam penggolongan pesawat terbang, yaitu:

- Small
- Large
- B757
- Heavy
- Superheavy

3.5.4 Jarak Pemisah Minimum

Dalam menentukan jarak pemisah minimum, terdapat dua macam peraturan pemisah pesawat yang dibedakan berdasarkan kondisi cuaca yang dihadapi oleh pilot dalam menerbangkan pesawat terbang. Kondisi pertama yaitu *Visual Flight Rules* (VFR), dimana pada kondisi ini pilot menerbangkan pesawat dengan hanya melihat kompas dan daratan dengan mengikuti tanda-tanda alam seperti sungai, gunung, pantai atau juga mengikuti jalan raya sebagai acuan. Metode VFR ini memiliki keterbatasan yaitu hanya

mengandalkan kondisi cuaca dan jarak pandang yang bagus, jika kondisi cuaca buruk maka penerbangan akan terganggu. Kondisi cuaca untuk menerbangkan pesawat dengan cara atau aturan VFR disebut *Visual Meteorological Condition (VMC)*.

Kondisi kedua adalah *Instrument Flight Rules (IFR)*, cara menerbangkan pesawat dengan mengikuti panduan instrument di dalam pesawat. Kondisi cuaca untuk menerbangkan pesawat dengan cara atau aturan IFR disebut dengan *Instrument Meteorological Condition (IMC)*. IFR sangat membantu dalam menerbangkan penerbangan dikarenakan sistem navigasi yang canggih sehingga penerbangan tidak hanya mengandalkan dari kemampuan pilot yang terbatas oleh cuaca. Aturan cara terbang IFR disediakan oleh pemandu lalu lintas udara yang berada di bandara.

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 nautical mile (nm) dan detik. *Nautical mile* atau mil laut adalah satuan panjang yang digunakan untuk mengukur jarak penerbangan. Peraturan-peraturan ini dapat dilihat dalam tabel di bawah ini:

Tabel 3.10 Minimum *Arrival-arrival separation* pada kondisi IMC

Minimum Separation Matrix			<i>Arrival-Arrivals</i>
Lead	Trailing		
	Small	Large	Heavy
Small	3	3	3
Large	5	3	3
Heavy	6	5	3

Tabel 3.11 Minimum *Departure-departure separation* pada kondisi IMC

Departue- <i>Departure</i> Separation Matrix (seconds)			
Lead	Trailing		
	Small	Large	Heavy

Tabel 3.11 Minimum *Departure-departure separation* pada kondisi IMC (Lanjutan)

Small	60	60	60
Large	60	60	90
Heavy	120	120	120

Tabel 3.12 Minimum Arrival-arrival separation pada kondisi VMC

Minimum Separation Matrix			<i>Arrival-Arrivals</i>
Lead	Trailing		
	Small	Large	Heavy
Small	2,4	2,4	2,4
Large	5	2,4	2,4
Heavy	6	4	2,7

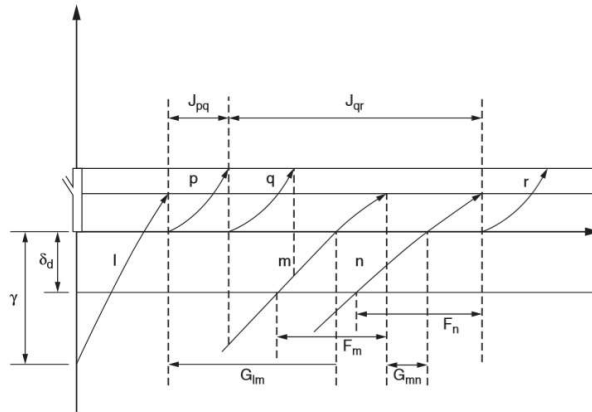
Tabel 3.13 Minimum Departure-departure separation pada kondisi VMC

Departue- <i>Departure</i> Separation Matrix (seconds)			
Lead	Trailing		
	Small	Large	Heavy
Small	50	50	50
Large	50	50	75
Heavy	90	90	90

3.5.5 Perhitungan Kapasitas *Runway*

Hal ini bertujuan untuk mendapatkan gambaran seberapa besar kapasitas *runway* saat ini, agar dapat dioptimalkan pemakaian *runway* di tahun 2030. Menurut Horonjeff & McKelvey (2010) Perhitungan matematis kapasitas jenuh *Runway* menggunakan beberapa tipe model menentukan jumlah pergerakan pesawat terbang maksimum yang dapat ditampung oleh suatu *Runway* yang dinyatakan dalam jumlah operasi pergerakan pesawat persatuan waktu. Pada perhitungan kapasitas *runway* kali ini menggunakan metode matematis (matriks). Metode ini disebut

juga dengan *Time Space Analysis* yaitu metode sederhana yang digunakan untuk menghitung kapasitas landasan pacu udara jika *headway* antara pesawat diketahui.



Gambar 3.15 Konsep Diagram Waktu-Jarak Untuk Operasi Campuran Dalam Sebuah Sistem *Runway*
(Sumber: Horonjeff, 2010)

Menurut gambar 3.13, 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* daripada 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 3.13 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_{ln} 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 .

1. Pengembangan model untuk kedatangan (*Models for Arrivals Only*)

Kapasitas *runway* digunakan hanya untuk kedatangan pesawat yang dipengaruhi faktor-faktor berikut :

1. Campuran pesawat yang biasanya ditandai dengan penggolongan pesawat ke beberapa kelas menurut kecepatan mendekati *runway* (*approach speed*).
2. Kecepatan pesawat saat mendekati *runway* dari berbagai penggolongan pesawat.
3. Panjang alur pendekatan ke landasan dari jalur masuk.
4. Aturan pemisahan minimum atau pemisahan yang diamati secara praktis jika tidak ada aturan yang berlaku.
5. Besarnya kesalahan dalam waktu kedatangan di awal dan kesalahan kecepatan pada jalur pendekatan ke *runway*
6. Probabilitas khusus dari pelanggaran terhadap pemisahan jarak minimum yang dapat diterima.
Rata-rata waktu pemakaian *runway* dari berbagai kelas pesawat dalam campuran dan besarnya pancaran dalam waktu rata-rata tersebut.

a. Keadaan bebas kesalahan (*The Error-Free Case*)

Keadaan bebas kesalahan perlu untuk merumuskan matriks selang waktu diantara kedatangan pesawat diambang *runway* agar mendapatkan waktu pelayanan terboboti (*weighted service time*). Dengan memperoleh matriks ini waktu pelayanan terboboti dapat dihitung. Kebalikan waktu pelayanan terboboti adalah kapasitas *runway*. Matriks bebas kesalahan $[M_{ij}]$ adalah

selang waktu minimum di batas *runway* untuk pesawat terbang dengan kelas kecepatan (i) yang diikuti pengelompokan pesawat (j), dan misalkan pengelompokan pesawat (i) dalam campuran adalah p_i , dan pengelompokan pesawat (j) adalah p_j , maka persamaannya adalah:

$$\Delta T_{ij} = T_j - T_i = [T_{ij}] = [M_{ij}] \quad \dots\dots\dots(16)$$

Dimana :

ΔT_{ij} = pemisahan waktu yang sebenarnya di *runway threshold*

T_i = waktu dimana pesawat (i) yang lewat didepan ambang *runway*

T_j = waktu dimana pesawat (j) yang dibelakang ambang *runway*

$[T_{ij}]$ = matriks pemisahan waktu di ambang *runway* untuk dua kedatangan yang berurutan, pesawat dengan kecepatan (i) diikuti oleh pesawat dengan kecepatan (j)

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

$$C = \frac{1}{E(\Delta T_{ij})} \quad \dots\dots\dots(3.17)$$

Dimana :

C = kapasitas *runway* untuk mengolah campuran pesawat yang datang.

$E(\Delta T_{ij})$ = nilai yang diharapkan dari waktu layanan atau waktu antar kedatangan di *runway* untuk campuran pesawat

P_{ij} = Probabilitas pesawat yang didepan (i), akan diikuti oleh pesawat dibelakan (j)

M_{ij} = Matriks dari pemisahan minimum (m_{ij})

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).

- Keadaan Merapat ($V_i \leq V_j$)

Keadaan dimana kecepatan mendekati landasan dari pesawat didepan lebih kecil dari yang berada di belakangnya. Namun jika waktu pemakaian *runway* dari kedatangan R_i lebih besar dari pemisahan di udara, maka akan menjadi pemisahan minimum di ambang landasan. Keadaan ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$T_{ij} = T_j - T_i = \frac{\delta_{ij}}{V_j} \quad \dots\dots\dots(3.18)$$

Dimana :

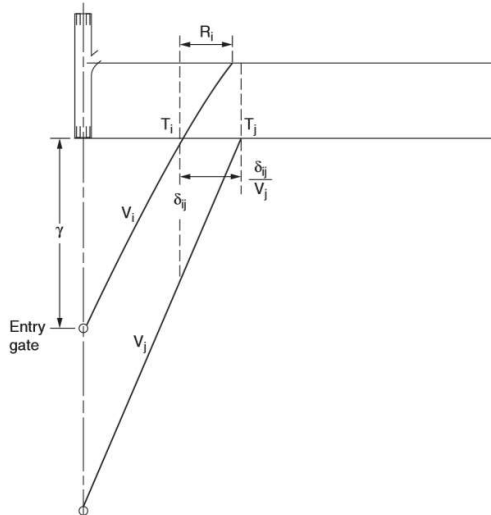
T_{ij} = panjang jalur pendekatan umum ke *runway*

δ_{ij} = jarak pisah minimum yang diperbolehkan diantara dua pesawat yang datang.

V_i = kecepatan pada saat mendekati landasan dari pesawat didepan kelas (i)

V_j = kecepatan pada saat mendekati landasan dari pesawat dibelakang kelas (j)

R_i = waktu pemakaian *runway* dari pesawat didepan kelas (i)



Gambar 3.16 Diagram Waktu-Jarak Untuk Antar Kedatangan Keadaan Merapat
(Sumber: Horonjeff,2010)

- Keadaan Meregang ($V_i > V_j$)

Untuk keadaan dimana kecepatan saat mendekati landasan dari pesawat yang berada didepan lebih besar daripada kecepatan pesawat dibelakangnya. Persamaan untuk keadaan ini diperlihatkan pada perumusan apabila pengendalian hanya dilakukan dijalur masuk hingga ke ambang landasan, maka:

$$T_{ij} = T_j - T_i = \frac{\delta_{ij}}{V_j} + Y \frac{1}{V_j} - \frac{1}{V_i} \quad \dots\dots(3.19)$$

Dimana :

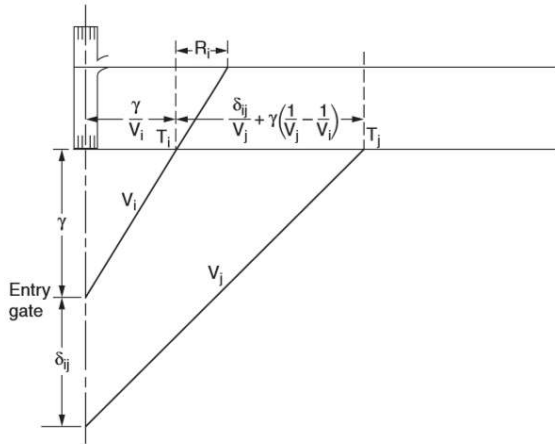
δ_{ij} = jarak pisah minimum yang diperbolehkan diantara dua pesawat yang datang.

γ = panjang jalur pendekatan ke *runway*

V_i = kecepatan pada saat mendekati landasan dari pesawat didepan dari kelas (i)

V_j = kecepatan pada saat mendekati landasan dari pesawat dibelakang kelas (j)

R_i = waktu pemakaian *runway* dari pesawat di depan kelas (i)



Gambar 3.17 Diagram Waktu-Jarak Untuk Antar Kedatangan Keadaan Merenggang

(Sumber: Horonjeff, 2010)

b. Perhitungan Mengenai Kesalahan Posisi

Model diatas merupakan penggambaran keadaan sempurna tanpa kesalahan, untuk pertimbangan kesalahan, ditambahkan waktu jeda terhadap waktu pisah sekalipun, lamanya waktu sanggah juga tergantung dengan probabilitas penyimpangan yang dapat diterima, kapasitas dapat ditentukan oleh persamaan berikut :

$$E [T_{ij}] = \sum P_{ij} [M_{ij} + B_{ij}] \quad \dots\dots(3.20)$$

- Keadaan Merapat ($V_i < V_j$).

Dalam hal ini, kecepatan mendekati landasan dari pesawat yang berada didepan lebih kecil daipada dibelakang dan pemisahannya.

$$B_{ij} = q_v \cdot \sigma_v - \delta_{ij} \quad \text{.....(3.21)}$$

- Keadaan meregang ($V_i > V_j$)

Berikut merupakan keadaan dimana kecepatan pada saat mendekati batas landasan dari pesawat yang berada di depan lebih besar daripada yang dibelakangnya

$$B_{ij} = q_v \cdot \sigma_0 - \delta_{ij} \frac{1}{V_j} - \frac{1}{V_i} \quad \text{.....(3.22)}$$

2. Pengembangan Model Untuk Keberangkatan (*Departures Only*)

Pada model ini, dianggap bahwa *runway* akan melayani pesawat yang akan berangkat saja. Untuk model ini, diketahui :

$$C_d = \frac{3600}{E(t_d)} \quad \text{.....(3.23)}$$

$$E(t_d) = \sum [P_{ij}] [t_d] \quad \text{.....(3.24)}$$

Dimana :

$E(t_d)$ = waktu pelayanan rata-rata, atau waktu antar keberangkatan di batas *runway*

untuk campuran pesawat

$[P_{ij}]$ = Probabilitas pesawat yang di depan (i), akan diikuti oleh pesawat dibelakang (j)

$[t_d]$ = Matriks waktu antar keberangkatan

3. Pengembangan Model Untuk Operasi Campuran (*Mixed Operations*)

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

- Kedatangan mempunyai prioritas lebih utama dibandingkan keberangkatan
- Hanya satu pesawat yang menggunakan *runway* dalam

satu waktu.

- c. Keberangkatan tidak dapat diijinkan jika pesawat datang kurang dari waktu pemisahan dari *runway threshold*
- d. Pemisahan minimum antar pesawat yang berangkat sama dengan waktu pelayanan keberangkatan

Kapasitas operasi campuran diketahui :

$$C_m = \frac{1}{(\Delta T_{ij})} (1 + \sum N_d P_{nd}) \quad \dots\dots(3.25)$$

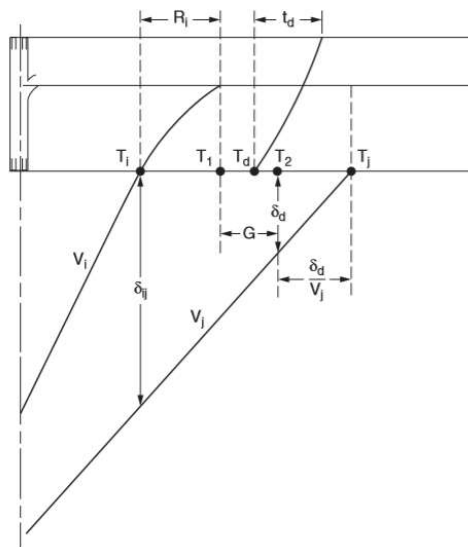
Dimana :

C_m = kapasitas *runway* pada saat operasi campuran E

(ΔT_{ij}) = nilai antarwaktu yang diharapkan

N_d = jumlah keberangkatan yang diantara celah kedatangan

P_{nd} = probabilitas kenaikan N_d di antara celah



Gambar 3.18 Diagram Waktu-Jarak Untuk Operasi Campuran

(Sumber: Horonjeff, 2010)

3.5.6 Simulasi Pergerakan Runway Dua Paralel

Simulasi merupakan sebuah percobaan meniru suatu model sistem yang ada. Simulasi pergerakan pesawat pada *runway* dua dan tiga dilakukan dengan program bantu Microsoft Excel dengan cara merubah variabel-variabel yang berpengaruh dalam kapasitas *runway*. Variabel yang dimaksud adalah campuran pergerakan pesawat saat kedatangan dan keberangkatan juga kelas dari masing-masing pesawat. Simulasi yang didesain adalah simulasi untuk operasi campuran kemudian disimulasikan pada dua *runway* paralel.

Langkah simulasi pergerakan sebagai berikut :

1. Mencari *peak hour* dari data jadwal pergerakan pesawat 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. Mementukan masing-masing proses kegiatan untuk keberangkatan dan kedatangan.
7. Kemudian dilakukan simulasi selama satu jam.

3.5.7 Kesimpulan dan Saran

Setelah dilakukan pengolahan data, akan didapat kesimpulan mengenai permasalahan yang terjadi yaitu pada fasilitas sisi udara Bandara Internasional Soekarno-Hatta dan juga perhitungan kapasitas dari masing-masing *runway*. Sedangkan saran yaitu masukan terkait keberlanjutan Tugas Akhir dan mengatasi permasalahan saat analisis.

BAB IV ANALISIS DATA

4.1 Evaluasi Kesesuaian Geometrik *Runway 3*

Evaluasi yang dilakukan yaitu dengan melakukan perhitungan rencana kemudian dilakukan perbandingan dengan kondisi eksisting di lapangan. Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan yaitu panjang landas pacu, kemiringan efektif, arah landas pacu, Kawasan Keselamatan Operasional Penerbangan (KKOP), serta komponen lainnya sesuai dengan ketentuan SKEP/77/VI/2005.

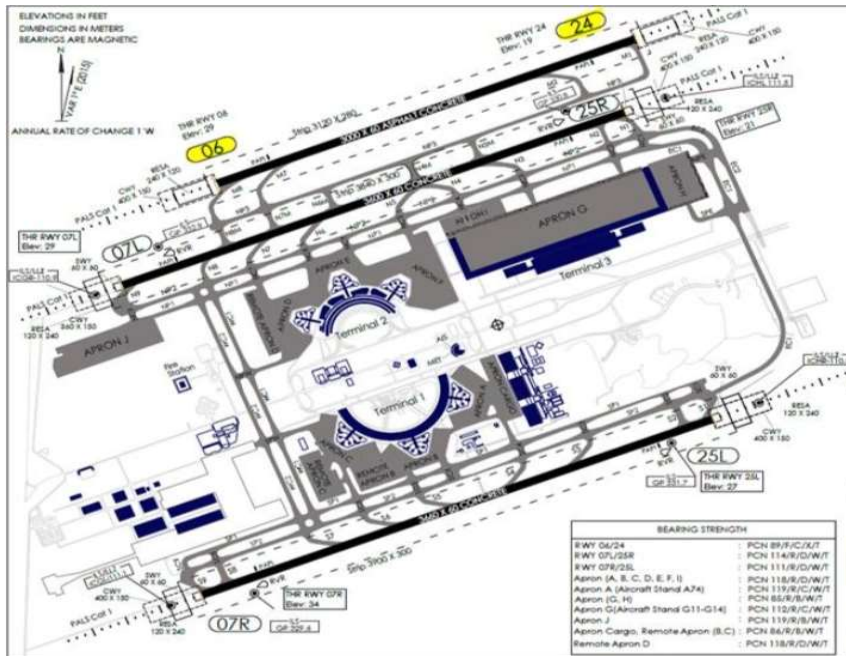
Diketahui *runway 3* memiliki TORA, TODA, ASDA, dan LDA sebagai berikut :

Tabel 4.1 Declared Distanced

<i>Runway Designator</i>	TORA (m)	TODA (m)	ASDA (m)	LDA (m)
06	3000	3400	3000	3000
24	3000	3400	3000	3000

(Sumber: <https://www.ishabripedia.us/2019/06/Runway06-24-soekarno-hatta-airport.html>)

TORA (*Take off Run Availble*) adalah panjang landas pacu yang digunakan pesawat saat lepas landas. TODA (*Take off Distance Availble*) adalah panjang landas pacu ditambah *clearway*. ASDA (*Accelerate Stop Distance Availble*) yaitu jumlah dari panjang landas pacu dan *stopway*. Sedangkan LDA (*Landing Distance Availble*) adalah panjang landas pacu yang dapat dipergunakan untuk mendarat sepanjang landas pacu (sesuai kondisi threshold aktif).



Gambar 4.1 Layout Bandara Internasional Soekarno-Hatta dengan Runway 3

(Sumber: <https://www.ishabripedia.us/2019/06/Runway06-24-soekarno-hatta-airport.html?m=1>)

4.1.1 Perhitungan Panjang *Runway*

Bandara Soekarno-Hatta memiliki 3 parallel *runway* saat ini, *runway* satu dengan nama 07R/25L memiliki dimensi 3660 x 60 meter, *runway* 2 dengan nama 07L/25R memiliki dimensi 3600 x 60 meter, sedangkan *runway* 3 terbaru dengan nama 06/24 dimensi 2500 x 60 meter. Panjang *runway* 3 bertambah 500 meter sehingga memiliki panjang total sebesar 3000 meter pada Desember 2019. Layout terbaru dengan *runway* 3 dapat dilihat pada lampiran.

Berdasarkan data pergerakan dari Tugas Akhir Tengku Annisa (2016), pesawat terbesar yang beroperasi yaitu pesawat Boeing 747-400. Maka digunakan pesawat rencana Boeing 747-400 untuk menghitung panjang *runway* rencana. Pesawat Boeing 747-400 memiliki spesifikasi teknis sebagai berikut :

- **Dimension:**

Length	= 70,7 m
Wingspan	= 64.4 m
Height	= 19,4 m
Wing Area	= 541,2 m ²

- **Weight**

Maximum Design Taxi Weight	= 803.000 kg
Maximum Take Off-Weight	= 362.874 kg
Maximum Landing Weight	= 260.362 kg
Operating Empty Weight	= 181.120 kg
Maaximum Zero Fuel Weight	= 251740 kg
Maximum Payload	= 70620 kg
Standard Fuel Capacity	= 204.340 litres

Dari data pesawat diatas maka kode pesawat sesuai dengan ketentuan *Aerodrome Reference Code* yaitu 4E, dikarenakan *runway* 3 bisa didarati pesawat yang memiliki ARFL (*Aeroplane Reference Field Length*) >1800 meter, dan lebar rentang pesawat

52 m sampai dengan 60 m. Untuk mengetahui panjang landas pacu yang direncanakan maka perlu adanya perhitungan koreksi terhadap faktor lingkungan, di lokasi bandara. Koreksi yang dimaksud disini yaitu perhitungan koreksi terhadap elevasi, temperatur, dan kemiringan landasan (*slope*). Untuk perhitungan masing-masing koreksi adalah sebagai berikut :

c. Koreksi Terhadap Elevasi (Fe)

Perhitungan koreksi terhadap elevasi berdasarkan ARFL bertambah 7% untuk setiap kenaikan 300 meter (1000 ft), dihitung dari ketinggian muka laut. Diketahui elevasi *runway* di Bandara Internasional Soekarno-Hatta adalah 9,754 m. Maka faktor koreksi terhadap elevasi sebagai berikut :

$$Fe = 1 + 0,07 \left(\frac{h (m)}{300} \right)$$

$$Fe = 1 + 0,07 \left(\frac{9,754}{300} \right)$$

$$Fe = 1,002276$$

d. Koreksi Terhadap Temperature (Ft)

Menurut ICAO panjang landasan pacu harus dikoreksi terhadap temperatur sebesar 1% untuk setiap kenaikan 1°C. Sedangkan untuk setiap kenaikan 1000 meter dari muka laut rata-rata, temperatur udara berkurang sebesar 6,5°C. Pada *Mean Sea Level* temperatur standar adalah 15°C. Data temperature tertinggi di Bandara Internasional Soekarno-Hatta sebesar 34°C. Maka perhitungan Ft adalah sebagai berikut :

$$Ft = 1 + 0,01 (T - (15 - 0,0065xh))$$

$$Ft = 1 + 0,01 (34 - (15 - 0,0065x9,754))$$

$$Ft = 1,189366$$

e. Koreksi Terhadap Kemiringan

Dalam perencanaan lapangan terbang, FAA memperkenalkan “ Gradient Effective yaitu beda tinggi antara titik terendah dengan titik tertinggi dari penampang memanjang landasan dibagi dengan panjang landasan. Adapun faktor koreksi kemiringan sebesar 10% untuk setiap kemiringan 1%.

Diketahui:

Titik terendah = 3 m

Titik tertinggi = 8 m

$$Efektif\ gradien\ (S) = \frac{S_{max} - S_{min}}{panjang\ runway} \times 100\%$$

$$Efektif\ gradien\ (S) = \frac{8-3}{3000} \times 100\% = 0,1667\%$$

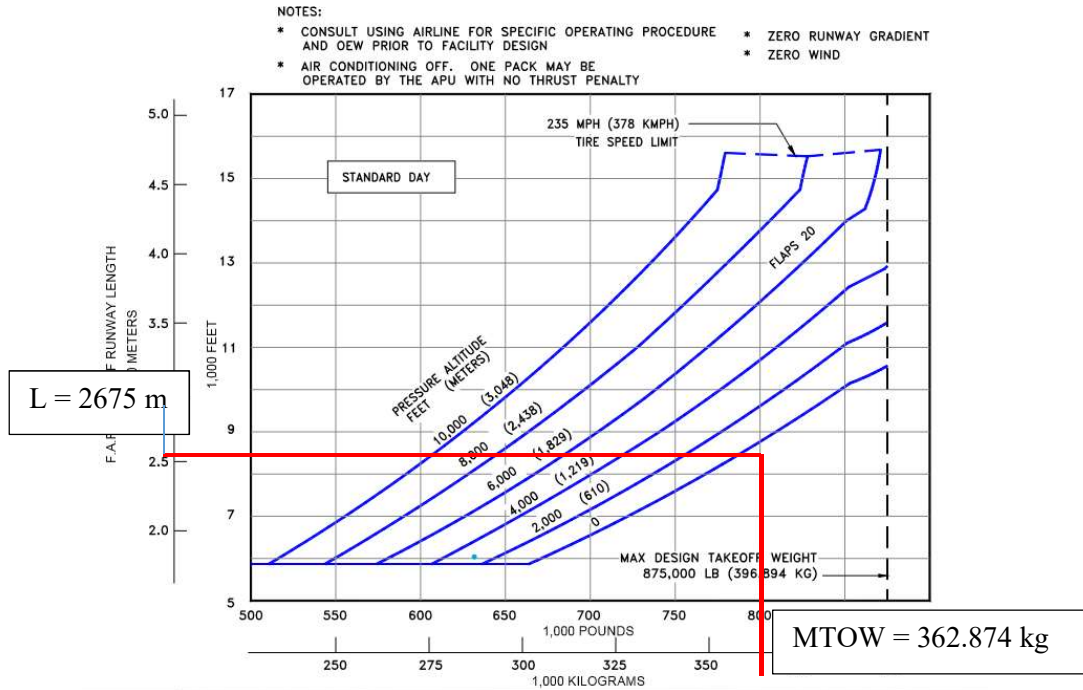
Maka, nilai faktor koreksi :

$$Fs = 1 + 0,1S$$

$$Fs = 1 + 0,1(0,1667\%)$$

$$Fs = 1,0001667$$

Untuk mencari panjang landasan terkoreksi minimum diperlukan nilai ARFL mengacu pada tabel *Boeing Company Airplane Characteristic for Airport Planning* . Diketahui MTOW 362.874 kg , kemudian diplotkan garis untuk mencari ARFL.



Gambar 4.2 Grafik Panjang Takeoff

Dari grafik diatas didapat ARFL untuk pesawat Boeing 747-400 adalah 2675 m. Hasil perhitungan kebutuhan panjang *runway* adalah sebagai berikut:

$$\text{Panjang runway} = \text{ARFL} \times F_e \times F_t \times F_s$$

$$\text{Panjang runway} = 2675 \times 1,0023 \times 1,1894 \times 1,0002$$

$$\text{Panjang runway} = 3189,326 \text{ m} = 3200 \text{ m}$$

Jadi, dari hasil perhitungan diatas didapatkan panjang landas pacu terkoreksi minimum saat pesawat terbang akan lepas landas (*take-off*) sebesar 3200 m. Saat ini kondisi eksisting, panjang landas pacu *runway* 3 Bandara Internasional Soekarno-Hatta memiliki panjang *runway* 3000 m. Sehingga perlu dilakukan penambahan panjang *runway* sebesar 200 m atau lebih agar kebutuhan panjang minimum landas pacu dapat terpenuhi pada kondisi cuaca panas.

4.1.2 Geometrik Landasan Pacu (*Runway*)

Perencanaan dimensi landas pacu berdasarkan SKEP/77/VI/2005 dengan sebelumnya didapatkan panjang landas pacu minimum yaitu sebesar 3200 m dengan MTOW terkoreksi 362.874 kg.

a. Lebar *Runway*

Berdasarkan kode ARC (*Aerodrome Reference Code*), maka untuk menentukan lebar landas pacu minimum berdasarkan ICAO memberikan pedoman untuk pesawat Boeing 747-400 dengan kode ARC yaitu 4E yang sudah dibahas sebelumnya. Pada Metodologi Tabel 3.1 didapatkan lebar landas pacu minimum sebesar 45 meter untuk kode ARC 4E.

b. Bahu *Runway*

Bahu *runway* berguna untuk menahan erosi dari hembusan jet dan menampung peralatan untuk pemeliharaan dan keadaan

darurat serta untuk penyediaan daerah peralihan antara bagian perkerasan dan jalur *runway*.

Tabel 4.2 Runway Shoulders

Code Letter	Penggolongan Pesawat	Lebar Shoulder (m)	Kemiringan maksimum shoulder (%)
A	I	3	2,5
B	II	3	2,5
C	III	6	2,5
D	IV	7,5	2,5
E	V	10,5	2,5
F	VI	12	2,5

(Sumber : SKEP/77/VI/2005)

Dari tabel diatas didapatkan lebar bahu landasan sebesar 10,5 pada kedua sisi landasan dengan kemiringan maksimum 2,5 berdasarkan kode ARC.

c. Area Berputar (*Turning Area*)

Berfungsi sebagai bagian dari landas pacu yang digunakan untuk melakukan gerakan memutar baik untuk membalik arah pesawat maupun saat akan parkir di apron. Lebar dari area berputar harus terbebas dari rintangan terutama roda pesawat.

Tabel 4.3 Clearence

Code Letter	Penggolongan Pesawat	Jarak minimum antara roda dan tepi putaran (m)
A	I	1,5
B	II	2,25
C	III	4,5 ^B
D	IV	4,5
E	V	4,5
F	VI	4,5

(Sumber : SKEP/77/VI/2005)

Dari tabel diatas dengan kode ARC E didapatkan jarak minimum antara roda dan tepi putaran yaitu 4,5 m

d. Kemiringan Memanjang Maksimum *Runway*

Kemiringan memanjang dihitung dari perbedaan ketinggian maksimum dan minimum sepanjang garis tengah *runway* dengan panjang *runway*.

Tabel 4.4 Kemiringan Memanjang

Code Number	Penggolongan Pesawat	<i>Runway</i> Gradien (%)	Pada Bagian Landasan (%)	¼ dari ujung landasan (%)
1	I	≤ 2	≤ 2	-
2	II	≤ 2	≤ 2	-
3	III	≤ 1	$\leq 1,5$	$\leq 0,8$
4	IV	≤ 1	$\leq 1,25$	$\leq 0,8$
	V	≤ 1	$\leq 1,25$	$\leq 0,8$
	VI	≤ 1	$\leq 1,25$	$\leq 0,8$

(Sumber : SKEP/77/VI/2005)

Dengan kondisi eksisting kemiringan memanjang landasan sebesar 0,167% memenuhi kriteria golongan pesawat V dengan gradien maksimum 1%.

e. Kemiringan Melintang *Runway*

Kemiringan melintang harus cukup memadai untuk mengalirkan air dengan agar agar *runway* tidak tergenang air.

Tabel 4.5 Kemiringan Melintang

Code Letter	Penggolongan Pesawat	Minimum Slope (%)	Maximum Slope (%)
A	I	≤ 2	≤ 2
B	II	≤ 2	≤ 2
C	III	≤ 1	$\leq 1,5$

Tabel 4.5 Kemiringan Melintang (Lanjutan)

D	IV	≤ 1	$\leq 1,25$
E	V	≤ 1	$\leq 1,25$
F	VI	≤ 1	$\leq 1,25$

(Sumber : SKEP/77/VI/2005)

Didapatkan kemiringan minimum sebesar 1% dan maksimum 1,25%.

f. Jarak Pandang (*Sight Distance*)

Jarak pandang minimum ditentukan berdasarkan tabel dibawah ini:

Tabel 4.6 Jarak Pandang

Code Letter	Penggolongan Pesawat	Jarak pandang pada jarak minimum $\frac{1}{2}$ runway (m)
A	I	1,5
B	II	2
C	III	3
D	IV	3
E	V	3
F	VI	3

(Sumber : SKEP/77/VI/2005)

Didapatkan jarak pandang minimum sebesar 3 meter.

g. Runway Strips (Jalur Landas Pacu)

Runway strips adalah luasan bidang yang menjadi daerah landas pacu yang penentuannya tergantung pada panjang landas pacu dan jenis instrumen pendaratan (*precision approach*) yang dilayani. Berdasarkan ARC didapatkan ketentuan sebagai berikut:

Tabel 4.7 Jalur Landas Pacu (*Runway Strips*)

No.	Uraian	Kode Huruf
		E
1	Lebar minimum termasuk landasan (Ws)	300
	Landasan instrumen (m) pendekatan presisi	
2	Permukaan strip : tidak boleh ada benda-benda, kecuali alat bantu visual untuk navigasi udara pada strip	120
	Landasan instrument (m) Kategori (V)	
3	Lebar minimum yang diratakan termasuk landasan (m)	150
	Landasan instrument (m)	
4	Kemiringan memanjang (%)	1,75
	Maksimum yang diratakan	
5	Kemiringan melintang (%)	< 2,5
	Maksimum yang diratakan	

(Sumber : SKEP/77/VI/2005)

h. Stopway (Jalur Untuk Berhenti)

Untuk menentukan lebar *stopway* berdasarkan lebar *runway* sehingga memiliki lebar yang sama

Tabel 4.8 Dimensi Untuk *Stopway*

Code Letter	Penggolongan Pesawat	Lebar Stopways (m)	Panjang Stopways (m)	Kemiringan Stopway (%)
A	I	18	30	
B	II	23	30	
C	III	30	60	0,3 per 30
D	IV	30	60	0,3 per 30
E	V	45	60	0,3 per 30
F	VI	45	60	0,3 per 30

(Sumber : SKEP/77/VI/2005)

Didapatkan lebar *stopway* 45 m sesuai dengan *runway*, kemiringan 0,3 setiap 30 m dan panjang *stopway* 60 m.

i. Holding Bay

Yaitu area yang terletak pada pertemuan *runway* dengan *taxiway*, digunakan untuk pesawat menunggu perintah lepas sebelum ke area *runway*. Berikut ketentuan *holding bay* untuk code letter E.

Tabel 4.9 Holding Bay

Uraian	Kode Huruf/Penggolongan Pesawat
	E
Jarak ruang bebas antara pesawat yang parkir dengan pesawat yang bergerak di <i>taxiway</i> (m)	7,5
Jarak minimum antara <i>holding bay</i> dengan garis tengah landasan	75
Landasan instrument (m)	

(Sumber : SKEP/77/VI/2005)

j. RESA (Runway End Safety Area)

RESA ditunjukkan untuk mengurangi risiko kerusakan pada pesawat akibat *undershooting* atau *overrunning*. Untuk kode ARC E didapatkan ketentuan dimensi RESA sesuai tabel berikut :

Tabel 4.10 Dimensi RESA

Uraian	Kode Huruf/Golongan Pesawat
	E
Jarak minimum antara <i>holding bay</i> dengan garis tengah landasan	90
a. Landasan instrumen (m)	

Tabel 4.10 Dimensi RESA (Lanjutan)

b. Landasan non-instrumen (m)	90
Lebar minimum (m) atau (2 kali lebar <i>runway</i>)	45
Kemiringan memanjang maksimum (%)	5
Kemiringan melintang maksimum (%)	5

(Sumber : SKEP/77/VI/2005)

Dimensi evaluasi RESA *runway* 3 Bandara Internasional Soekarno-Hatta yaitu jarak minimum antara holding bay dengan garis tengah sebesar 90 m, lebar minimum ($2 \times \text{lebar runway}$) sebesar $2 \times 45 \text{ m} = 90 \text{ m}$, kemiringan memanjang dan melintang maksimum yaitu 5 %.

k. *Clearway* (Jalur Bebas)

Jalur bebas disediakan jikan ada kegagalan pesawat pada saat *initial to climb*. Menurut *Annex 14-Aerodrome Chapter 3 Physical Characteristic* poitn 3.6.1 diaktakn bahwa origin/permulaan dari *Clearway* dimulai dari akhir *Take Off Run Avaible*. Berdasarkan ICAO *Annex* pasal 3.6.2 ;3.6.3 ;3.6.4, maka didapat :

1. Panjang *clearway* tidak melebihi setengah *take off run avaible*. Direncakan panjang *clearway* $0,5 \times 3200 \text{ m} = 1600 \text{ m}$
2. Lebar *clearway* minimum adalah 75 m untuk setiap sisi. Total lebar *clearway* sebesar $2 \times 75 \text{ m} = 150 \text{ m}$.
3. *Slope on clearway*, dari *Aerodrome Design Manual* diambil nilai 1,25%

4.1.3 *Landing Distances* (Jarak Pendaratan Pesawat)

Jarak pendaratan digunakan agar kebutuhan pesawat untuk *landing* dapat terpenuhi juga waktu pemakaian *runway* menjadi lebih efisien. Perhitungan berdasarkan kebutuhan *landing* masing-masing pesawat dengan melihat lokasi *exit taxiway*.



Gambar 4.3 Jarak Exit Taxiway dari Ujung *Runway* 06
(Sumber: Website Angkasa Pura II)



Gambar 4.4 Jarak Exit Taxiway dari Ujung *Runway* 24
(Sumber: Website Angkasa Pura II)

Dengan menggunakan program bantu Autocad jarak exit taxiway dengan ujung *runway* eksisting dapat diketahui. Berikut rekapitulasi jarak exit taxiway dengan ujung *runway* 06 dan *runway* 24.

Tabel 4.11 Jarak dari Ujung *Runway* ke Exit Taxiway

	Nama Taxiway	Jarak dari <i>Runway</i> 06 (m)	Jarak dari <i>Runway</i> 24 (m)
Taxiway 1	M1	3000	0
Taxiway 2	M2	2364	636
Taxiway 3	M7	392	2608
Taxiway 4	M8	0	3000

Perhitungan *landing distance* yaitu hasil kali dari koreksi elevasi, koreksi temperatur, koreksi temperatur terhadap *landing length requirement* yang didapatkan dari grafik masing-masing spesifikasi pesawat berdasarkan Maximum Landing Weight. Berikut hasil *landing distance* dari beberapa pesawat yang beroperasi berdasarkan data pergerakan pesawat tahun 2015 (Tengku Annisa, 2016).

Tabel 4.12 Jarak Pendaratan Dengan Koreksi

Jenis Pesawat	Landing length requirement (m)	Panjang landasan terkoreksi (m)		
		1	1+2	1+3
Airbus A320	1562	1566	1862	1862
Boeing 737-300	1650	1654	1967	1967
Boeing 737-800	1790	1794	2134	2134
Boeing 747-400	2030	2030	2420	2420

Dari data perhitungan diatas diketahui jarak ujung *runway* ke exit taxiway paling besar yaitu 3000 m baik dari *runway* 06 (M1) dan *runway* 24 (M4). Kemudian *landing distance* terbesar yaitu untuk pesawat Boeing 747-400 sebesar 2420 m. Sehingga pesawat yang hendak mendarat dapat memenuhi kriteria untuk melakukan pendaratan sesuai dengan kondisi *runway* 3 baru karena panjang *runway* >2420 m dan dapat beroperasi sesuai dengan waktu penggunaan *runway* (ROT).

4.1.4 Evaluasi Kesesuaian Landas Hubung (*Taxiway*)

Runway 3 terbaru Bandara Internasional Soekarno-Hatta memiliki beberapa taxiway terbaru yaitu NP3, M1, M2, M7, M8,

N3M, N4M, N6M, N7M, N8M, EC1 (SPE-SP2), EC2 (NPE-SPE). Untuk exit taxiway M1, M2, M7, dan M8 diketahui memiliki data sebagai berikut :

Tabel 4.13 Data Exit Taxiway *Runway 3*

<i>Runway</i>	Intersection Taxiway	Angle from <i>Runway</i> Centerline	TORA
06	M8	30°	3000 m
	M7	30°	2604 m
24	M1	90°	3000 m
	M2	30°	2379 m

(Sumber : <https://www.ishabripedia.us/2019/06/Runway06-24-soekarno-hatta-airport.html>)

Beberapa komponen-komponen yang dilakukan evaluasi yaitu lebar *taxiway*, pemisahan jarak minimum *taxiway*, kemiringan memanjang *taxiway*, kemiringan melintang *taxiway*, jarak pandang *taxiway*, bahu *taxiway*, *taxiway strips*, *fillet taxiway*, *rapid exit taxiway*, dan *taxiway strips*.

a. Lebar *Taxiway*

Berdasarkan tabel 3.2 lebar *taxiway* yaitu 25 meter dengan code letter E. Sedangkan diketahui lebar *taxiway* eksisting \pm 30 meter.



Gambar 4.5 Lebar *Taxiway* Eksisting

(Sumber: Website Angkasa Pura II)

b. Pemisahan Jarak Minimum *Taxiway*

1. *Taxiway* dengan *Taxiway*

Berdasarkan ketentuan FAA menggunakan pesawat terbesar Boeing 747-400 dengan *wingspan* 64,4 meter didapatkan perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Jarak} = (1,2 \times WS) + 3$$

$$\text{Jarak} = (1,2 \times 64,4) + 3$$

$$\text{Jarak} = 80,28 \text{ meter}$$

2. *Taxiway* dengan Objek Lainnya

Berdasarkan ketentuan FAA menggunakan pesawat terbesar Boeing 747-400 dengan *wingspan* 64,4 meter didapatkan perhitungan sebagai berikut :

$$\text{Jarak} = (0,7 \times WS) + 3$$

$$\text{Jarak} = (0,7 \times 64,4) + 3$$

$$\text{Jarak} = 48,08 \text{ meter}$$

3. *Taxilane* dengan *Taxilane*

Berdasarkan ketentuan FAA menggunakan pesawat terbesar Boeing 747-400, didapatkan jarak sebagai berikut :

$$\text{Jarak} = (1,1 \times WS) + 3$$

$$\text{Jarak} = (1,1 \times 64,4) + 3$$

$$\text{Jarak} = 73,84 \text{ meter}$$

c. Kemiringan Memanjang

Berdasarkan tabel 3.4 didapatkan kemiringan memanjang *taxiway* 1,5% dengan jari-jari peralihan minimum 3000 meter untuk code letter E.

d. Kemiringan Melintang

Dari tabel 3.5 didapatkan kemiringan melintang 1,5% untuk code letter E

e. Jarak Pandang (*Sight Distance*)

Berdasarkan ICAO dan FAA didapatkan jarak pandang sebesar 3 meter.

f. Bahu Taxiway (*Taxiway Shoulder*)

Berdasarkan ketentuan ICAO dan FAA didapatkan bahu taxiway sebesar 25 meter.

g. Taxiway Strips

Menurut ICAO dan KP 29 Tahun 2014 didapatkan *taxiway strips* dengan lebar 26 meter, serta kemiringan 2,5%

h. Fillet Taxiway

Dari gambar 3.1 berdasarkan ketentuan FAA *AC 150/5300 – 13*. Didapatkan nilai R sebesar 30 meter, nilai L sebesar 45 meter, dan F sebesar 16,5 meter.

4.2 Analisis Kesesuaian *Parallel Runway 2* dan *Runway 3*

Sebelumnya Bandara Internasional Soekarno-Hatta memiliki dua *runway* sejajar. Dengan adanya *runway 3* saat ini, maka Bandara Internasional Soekarno-Hatta memiliki tiga *runway* sejajar. Analisis kesesuaian yang dimaksud yaitu membandingkan kondisi *runway 3* dengan beberapa ketentuan dari ICAO dan SKEP/77/VI/2005.

Yang perlu diperhatikan dalam konfigurasi *parallel runway* yaitu ketentuan garis tengah pemisah antara dua *runway*. Menurut ICAO dalam Annex 14 *Aerodrome Volume I* (2004), jarak antara *parallel non-instrument runway* dibagi menjadi tiga, yaitu *Close* (Berdekatan) dengan jarak antara sumbu ke sumbu *runway* sejauh 120 m (394 ft). *Intermediate* (Menengah) dengan jarak minimum antara sumbu ke sumbu *runway* 150 m (492 ft). Kemudian *Far* (Berjauhan) memiliki jarak antar sumbu sejauh 210 m (689 ft).

Sedangkan jarak antara *parallel instrument runway* dapat dibedakan menjadi empat, yaitu sejauh 1.035 m (3.396 ft) untuk *independent parallel approaches*, 915 m (3.002 ft) untuk *dependent parallel approaches*, 760 m (2.493 ft) untuk *independent parallel departure*, dan sejauh 760 m (2.493 ft) untuk *segregated parallel operations*. Jarak pemisahan minimum ini berguna sebagai prosedur pemanduan lalu lintas penerbangan jika dilakukan pengoperasian *multiple runway*.



Gambar 4.6 Jarak Pemisah Dua *Runway* (*Runway 2 dan 3*)

Dari pengukuran dengan menggunakan program bantu Autocad didapatkan jarak garis tengah pemisah *runway 2 dan runway 3* sebesar 500 m. Setelah didapatkan jarak tersebut kemudian dikategorikan sesuai ketentuan ICAO diatas.

- Untuk *runway parallel non-instrumen* termasuk kategori Far (Berjauhan) dikarenakan jarak >210 dengan *code number 4*
- Untuk *runway parallel instrumen*, jarak antara *runway* tidak memenuhi jarak minimum dari empat kategori karena jarak paling minimum yaitu 760 m sedangkan jarak antar *runway* didapatkan 500 m

Dari hasil diatas, jarak pemisahan *runway* untuk pendekatan instrumen tidak terpenuhi, sehingga jika penerbangan berada pada cuaca buruk yang mengharuskan pesawat menggunakan pendekatan instrumen dengan kondisi IFR (*Instrument Flight Rules*) tidak dapat dilakukan. Dari kondisi tersebut berkaitan juga

dengan keselamatan penerbangan, kedua *runway* tidak dapat digunakan secara bersamaan (*simultan*) untuk take off dan landing pesawat dikarenakan jaraknya yang terlalu dekat. Masalah juga muncul ketika semua pesawat yang akan take off maupun landing di *runway* 3 harus melewati *runway* aktif yaitu *runway* 2. Sehingga untuk peningkatan kapasitas *runway* untuk take off dan landing sulit mengejar harapan yang direncanakan sebelumnya.

4.3 Analisis Angin

4.3.1 Hasil Pengolahan Data Angin

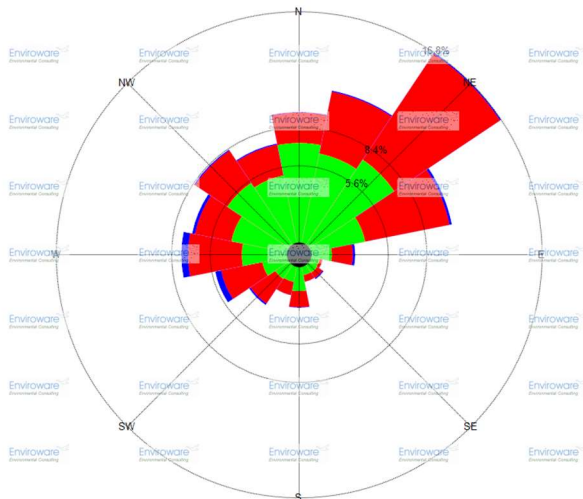
Analisis yang dilakukan yaitu dengan menggunakan analisis *windrose*. Analisis digunakan untuk penentuan arah *runway* apakah sesuai dengan kondisi angin disekitar *runway*. Penentuan arah *runway* dengan melihat arah angin menggunakan *usability factor* yang merupakan persentase data angin (*wind coverage*) yang menunjukkan kondisi angin disekitar *runway* memenuhi persyaratan berdasarkan nilai *cross wind* yang dapat terjadi. Batas *usability* minimum dari arah landasan pacu yang dapat dipilih yaitu 95% menurut ICAO Annex 14 : Aerodrome Volume I Chapter 3 Section 3.1 dan FAA AC 150/5300 – 13 Appendix 1. Besarnya *crosswind* maksimum yang diizinkan berdasarkan FAA dengan melihat pesawat kritis dengan bentang sayap (*wingspan*) terpendek atau memiliki kecepatan paling lambat. Berikut nilai *crosswind* maksimum berdasarkan ARFL pesawat.

Tabel 4.14 Maksimum *Crosswind*

Reference field length	Max <i>cross wind</i>		
	knot	km/jam	mil/jam
>1500	20	37	23
1200-1499	13	24	15
<1200	10	19	11,5

(Sumber : ICAO,2016)

Pesawat terkritis atau dengan bentang sayap terpendek yaitu pesawat BAE System 146 dengan *wingspan* 26,21 meter dan ARFL 1210 meter, sehingga didapat maksimum *crosswind* sebesar 13 knot berdasarkan tabel 4.14 karena ARFL berada diantara 1200-1499. Dari analisis data angin menggunakan program bantu *WindrosePro*, didapatkan output arah *runway* dan *wind coverage* untuk menentukan *usability factor runway*. Dari program bantu *WindrosePro* didapatkan *Windrose* seperti gambar 4.16 dengan maksimum *windrose* yang dimasukkan sebesar 13 knot.



Gambar 4.7 Windrose Bandara Internasional Soekarno-Hatta

Diketahui *runway* eksisting memiliki arah $60^{\circ} - 240^{\circ}$, hasil perhitungan *usability factor* didapatkan lebih dari 95% yaitu sebesar 98%-99%, dapat dilihat pada *wind coverage* tabel 4.15 sehingga sudah memenuhi syarat *usability factor* yaitu $\geq 95\%$. Karena *usability factor* terhadap *crosswind* memenuhi syarat, maka arah *runway* 3 eksisting dengan perhitungan analisis sudah sesuai yaitu dengan arah $60^{\circ} - 240^{\circ}$.

Tabel 4.15 Wind Coverage Bandara Internasional Soekarno-Hatta

Runway orientation (degree)	Wind coverage (%)
0	98,91989199
10	99,00990099
20	98,91989199
30	99,05490549
40	99,05490549
50	99,05490549
60	99,00990099
70	98,96489649
80	98,96489649
90	98,91989199
100	98,91989199
110	98,87488749
120	98,87488749
130	98,96489649
140	98,96489649
150	98,87488749
160	98,96489649
170	98,87488749
180	98,91989199
190	99,00990099
200	98,91989199
210	99,05490549
220	99,05490549
230	99,05490549
240	99,00990099
250	98,96489649
260	98,96489649
270	98,91989199
280	98,91989199
290	98,87488749
300	98,87488749
310	98,96489649
320	98,96489649
330	98,87488749
340	98,96489649
350	98,87488749

4.4 Marka *Runway*

Analisis marka pada *runway* 3 berdasarkan pada peraturan SKEP/11/1/2001 tentang Standar Marka dan Rambu pada Daerah Pergerakan Pesawat Udara di Bandar Udara.

a. *Runway Designation Marking*

Diketahui nomor *runway* 3 saat ini yaitu *runway* 06 dan 24. Sedangkan *runway* 1 masih menggunakan nomor *runway* 07R/25L dan *runway* 2 dengan nomor 07L/25R.

b. *Thresold Marking*

Dari analisis yang telah dilakukan didapatkan lebar *runway* 45 m, menurut tabel 3.6 *runway* 3 harus mempunyai stripes sebanyak 12 dan memiliki celah sebanyak 10 celah. Kemudian ditempatkan sejauh 6 m dari tepi ujung landasan.

c. *Touhdown Zone Marking*

Penentuan jumlah garis berdasarkan *Landing Distance Avable* sebesar 2420 yang telah dilakukan analisis menggunakan pesawat terbesar. Menurut pada tabel 3.7, *pairs of Marking* sebanyak 6 buah dan jumlah garis menjadi Tiga, Tiga, Dua, Dua, Satu, Satu. Sedangkan menurut gambar 3.7 panjang stripe 22,5 m, untuk lebar stripe 3 m, jarak antar stripe 1,5 m, dan jarak antar *thresold* 150 m.

d. *Aiming Point Marking*

Dari analisis menggunakan pesawat B747-400 didapatkan panjang *runway* 3200 m, menurut tabel 3.8 jarak *aiming point marking* dari *threshold* sebesar 400 m, untuk panjang stripe 60 m, untuk lebar 10 m, dan jarak spasi antar stripe bagian dalam 20 m.

e. *Runway Centre Line Marking*

Dari tabel 3.9 panjang garis (a) ditambah celah (b) sebesar 50 meter – 75 meter. Untuk analisis ini digunakan panjang

garis 40 meter dan celah sebesar 30 meter dengan lebar 0,9 meter untuk *precision runway category 2* dan 3.

BAB V SIMULASI KAPASITAS *RUNWAY*

5.1 Data Pergerakan Pesawat dan Penentuan Peak Hour

Untuk menganalisis kapasitas *runway* pada Bandara Internasional Soekarno-Hatta dibutuhkan data historis pergerakan pesawat. Data historis pergerakan pesawat biasanya diambil selama selama seminggu kemudian dicari *peak hour*. *Peak hour* adalah jam penerbangan tersibuk yang didapatkan pada bulan tersibuk dalam satu tahun. Hari tersibuk didapat dari jumlah pergerakan pesawat terbanyak dalam 7 hari, kemudian jam sibuk dicari dengan melihat 1 jam pergerakan pesawat terbanyak dalam 24 jam. Karena keterbatasan dalam pengambilan data dan kondisi yang tidak memungkinkan, data pergerakan pesawat diambil dari Tugas Akhir Tengku Anisa (2016) yaitu data pergerakan pesawat tanggal 12 Juli 2015 sampai dengan tanggal 18 Juli 2015. Berikut data pergerakan pesawat selama 7 hari.

Tabel 5.1 Data Historis Pergerakan Pesawat

No	Hari	Tanggal	Total Pergerakan Pesawat
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	Jum'at	17 Juli 2015	1241
7	Sabtu	18 Juli 2015	1233

(Sumber: Tengku Anisa,2016)

Dari data diatas dapat dilihat jumlah pergerakan pesawat terbesar terjadi pada hari Rabu, tanggal 15 Juli 2015. dengan total pergerakan pesawat 1267 pergerakan dan. Setelah mendapat *peak day* maka dilanjutkan dengan mencari *peak hour* pada tanggal 15 Juli 2015. Perhitungan *peak hour* dilakukan dengan menghitung jumlah pergerakan pesawat dengan rentang waktu setiap 1 jam

selama 24 jam. Dari data tersebut dicari pergerakan pesawat terbesar 1 jam dari 24 jam pada tanggal 15 Juli 2015. Berikut hasil rekapitulasi perhitungan *peak hour* terbesar pada hari Kamis 15 Juli 2015.

Tabel 5.2 Rekapitulasi Keberangkatan dan Kedatangan saat *peak day* (hari sibuk)

15-Jul-15				
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 - 05:44	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 - 09:45	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
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

(Sumber: Tengku Anisa, 2016)

Didapat *peak hour* terjadi pada jam 12:45 sampai dengan 13:44 dengan total 94 pergerakan. Dikarenakan data yang dibutuhkan yaitu data pada tahun 2019, maka dicari besar pergerakan pada tahun 2019 kemudian dilakukan simulasi untuk mendapatkan besar kapasitas pada tahun 2019 dengan menggunakan metode *time spce analysis*. Data jumlah pergerakan pada tahun 2019 diambil dari data Tugas Akhir Riva Rizki Ramadhani (2019). Karena keterbatasan data, didapatkan jumlah pergerakan pesawat perbulan untuk bulan januari dan februari saja seperti tabel 5.3 di bawah ini.

Tabel 5.3 Total Data Angkutan Udara 2019

No.	Bulan	Pesawat		
		Arr.	Dep.	Tot.
1	Januari	16.850	16.426	33.276
2	Februari	14.737	14.333	29.070

(Sumber: Riva Rizki Ramadhani, 2019)

Dari data total angkutan udara diatas diambil nilai pergerakan terbesar yaitu pada bulan Januari 2019 dengan total pergerakan pesawat 33.276 pergerakan selama satu bulan.

5.2 Kategori dan Karakteristik Pergerakan Pesawat

Dalam perhitungan kapasitas diperlukan penggolongan pesawat berdasarkan kecepatan pendaratan. Penggolongan pesawat berdasarkan peraturan *Federal Aviation Administration (FAA)* seperti tabel berikut.

Tabel 5.4 Kategori Pesawat Berdasarkan Kecepatan

Kategori	Kecepatan Mendarat
A	< 90 knots
B	91 knots – 120 knots
C	121 knots – 140 knots
D	141 knots – 165 knots

Kemudian untuk *Runway Occupancy Time (ROT)* atau waktu pemakaian *runway* masing-masing pesawat didapatkan dari tabel berikut ini:

Tabel 5.5 *Runway Occupancy Time* Masing-masing Tipe Pesawat

Tipe Pesawat	ROT
Boeing 727 all series (B722, B72F)	65
Boeing 737 all series (B732, B733, B734, B735, B738, B739)	65
Boeing 747 all series (B743, B744, B74F)	75
Boeing 767 all series (B763)	70
Boeing 777 all series (B772, B773)	75
McDonnell Douglas MD 80 series (MD80, MD82)	70
McDonnell Douglas MD 90 series (MD90, MD93)	70
McDonnell Douglas MD 11 (MD11)	70
Airbus A300 – 600 (A306)	65
Airbus A310 family (A310)	65
Airbus A320 family (A319, A320)	65
Airbus A330 family (A330, A332, A333)	75
Airbus A340-500 (A345)	75
British Aerospace 146 (BA46)	55
Fokker 100 (F100)	60
Bombardier CRJ-1000	70
ATR-72	55

Sebelum mendapatkan karakteristik jenis pesawat diperlukan data jumlah pergerakan pesawat untuk kedatangan dan keberangkatan pada saat *peak hour* yang didapatkan dari Tugas Akhir Tengku Anisa pada tahun 2015

Tabel 5.6 Jadwal Keberangkatan Saat Peak Hour

No	Departure			Take Off Speed	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 737-800	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	Philippine 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
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

Tabel 5.6 Jadwal Keberangkatan Saat Peak Hour (Lanjutan)

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
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

(Sumber: Tengku Anisa, 2016)

Untuk data pergerakan kedatangan saat *peak hour* dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 5.7 Jadwal Kedatangan Saat Peak Hour

No	Departure			Take Off 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
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

Tabel 5.7 (Lanjutan)

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
40	Garuda Indonesia	285	Boeing 737-800	147	D	1.25 PM
41	Garuda Indonesia	201	Boeing 737-800	147	D	1.30 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
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

(Sumber: Tengku Anisa, 2016)

Didapatkan karakteristik jenis pesawat pada penerbangan saat *peak hour* yaitu pada tanggal 15 Juli 2015 pukul 12:45 – 01:44 PM. Berikut karakteristik jenis pesawat saat *peak hour*.

Tabel 5.8 Kecepatan dan ROT Rata-Rata

Tipe Pesawat	Kecepatan Landing (knots)	Kecepatan Take Off (knots)	ROT			
			Arrival			Departure
			Runway 1	Runway 2	Runway 3	
C	134	141	0,43	0,47	0,59	0,45
D	150	162	0,44	0,48	0,57	0,54

Pada tabel diatas tipe pesawat A,B,E tidak dimasukkan karena tipe tersebut tidak beroperasi saat peak hour. Kecepatan landing dan kecepatan take off diambil dari data pesawat dengan nilai terkecil dari masing-masing kategori.

5.3 Konversi Pergerakan Pesawat Untuk Tahun 2019

Untuk mendapatkan jumlah pergerakan *peak hour* saat tahun 2019 maka diperlukan konversi dari data eksisting yang ada yaitu data pada tanggal 15 Juli 2015. Jumlah pergerakan pesawat bulan Januari tahun 2019 yaitu 33.276. Dimisalkan dalam 1 bulan terdapat 4 minggu, maka pergerakan pesawat bulan Januari tahun 2019 :

Pergerakan perminggu untuk :

- Departure = $\frac{16.426}{4}$
= 4107 pergerakan/minggu
- Arrival = $\frac{16.850}{4}$
= 4213 pergerakan/minggu
- Total = 4107 + 4213
= 8320 pergerakan/minggu

Setelah mendapatkan total pergerakan per minggu tahun 2019, selanjutnya mengalikan persen pergerakan perhari pada tanggal 12 Juli 2015 sampai 18 Juli 2015 dengan jumlah pergerakan per minggu tahun 2019. Persentase pergerakan pada data 7 hari 2015 adalah sebagai berikut.

Tabel 5.9 Persentase Pergerakan Selama Seminggu 2015

No.	Hari	Tanggal	Total Pergerakan	Persen Pergerakan
1	Minggu	12 Juli 2015	1256	14,427%
2	Senin	13 Juli 2015	1230	14,128%
3	Selasa	14 Juli 2015	1225	14,071%

Tabel 5.9 Persentase Pergerakan Selama Seminggu 2015
(Lanjutan)

4	Rabu	15 Juli 2015	1267	14,553%
5	Kamis	16 Juli 2015	1254	14,404%
6	Jumat	17 Juli 2015	1241	14,255%
7	Sabtu	18 Juli 2015	1233	14,163%
TOTAL			8706	100%

(Sumber : Tengku Annisa, 2016)

Hasil perkalian persen pergerakan perhari pada tanggal 15 Juli 2015 dengan jumlah pergerakan per minggu tahun 2019 dapat dilihat pada tabel dibawah in

Tabel 5.10 Hasil Konversi Pergerakan Pesawat Tahun 2019

No.	Hari	Tanggal	Total Pergerakan	Persen Pergerakan
1	Minggu	12 Januari 2019	1200	14,425%
2	Senin	13 Januari 2019	1175	14,124%
3	Selasa	14 Januari 2019	1171	14,076%
4	Rabu	15 Januari 2019	1211	14,557%
5	Kamis	16 Januari 2019	1198	14,401%
6	Jumat	17 Januar 2019	1186	14,257%
7	Sabtu	18 Januari 2019	1178	14,160%
TOTAL			8319	100%

Dari tabel perhitungan diatas didapat *peak day* terjadi pada tanggal 15 Januari 2019 dengan total pergerakan 1211 pergerakan per hari. Kemudian dicari *peak hour* dengan cara mengalikan persen pergerakan *peak day* pada tanggal 15 Juli 2015 dengan total pergerakan saat *peak day* untuk tanggal 15 Januari 2019.

Tabel 5.11 Jumlah dan Presentase Pergerakan Perjam Pada Hari Rabu 15 Juli 2015

No.	Waktu	Departure	Arrival	Total	Persen
1	00:45 - 01:44	7	2	9	0,710%
2	01:45 - 02:44	6	1	7	0,552%
3	02:45 - 03:44	0	1	1	0,079%
4	03:45 - 04:44	5	3	8	0,631%
5	04:45 - 05:44	40	0	40	3,157%
6	05:45 - 06:44	46	2	48	3,788%
7	06:45 - 07:44	27	30	57	4,499%
8	07:45 - 08:44	38	32	70	5,525%
9	08:45 - 09:45	39	34	73	5,762%
10	09:45 - 10:44	29	41	70	5,525%
11	10:45 - 11:44	46	35	81	6,393%
12	11:45 - 12:44	26	31	57	4,499%
13	12:45 - 13:44	43	51	94	7,419%
14	13:45 - 14:44	33	39	72	5,683%
15	14:45 - 15:44	36	47	83	6,551%
16	15:45 - 16:44	39	41	80	6,314%
17	16:45 - 17:44	37	40	77	6,077%
18	17:45 - 18:44	39	34	73	5,762%
19	18:45 - 19:44	28	41	69	5,446%
20	19:45 - 20:44	21	38	59	4,657%
21	20:45 - 21:44	13	49	62	4,893%
22	21:45 - 22:44	12	25	37	2,920%
23	22:45 - 23:44	5	18	23	1,815%
24	23:45 - 00:44	11	6	17	1,342%
Total		626	641	1267	100,0%

(Sumber : Tengku Annisa, 2016)

Salah satu contoh perhitungan untuk mendapatkan pergerakan *peak hour* tahun 2019 yaitu :

- Pergerakan untuk jam 00:45 – 01:44 tahun 2019
Perhitungan = $0,71\% \times 1211 = 9$ pergerakan/jam
- Pergerakan untuk jam 01:45 – 02:44 tahun 2019
Perhitungan = $0,552\% \times 1211 = 7$ pergerakan/jam
- Dst.

Tabel 5.12 Rekapitulasi Pergerakan perjam tahun 2019

No.	Waktu	Total
1	00:45 - 01:44	9
2	01:45 - 02:44	7
3	02:45 - 03:44	1
4	03:45 - 04:44	8
5	04:45 - 05:44	38
6	05:45 - 06:44	46
7	06:45 - 07:44	54
8	07:45 - 08:44	67
9	08:45 - 09:45	70
10	09:45 - 10:44	67
11	10:45 - 11:44	77
12	11:45 - 12:44	54
13	12:45 - 13:44	90
14	13:45 - 14:44	69
15	14:45 - 15:44	79
16	15:45 - 16:44	76
17	16:45 - 17:44	74
18	17:45 - 18:44	70
19	18:45 - 19:44	66
20	19:45 - 20:44	57

Tabel 5.12 Rekapitulasi Pergerakan Perjam tahun 2019
(Lanjutan)

21	20:45 - 21:44	59
22	21:45 - 22:44	35
23	22:45 - 23:44	22
24	23:45 - 00:44	16
Total		1211

Dari hasil rekapitulasi diatas didapatkan jumlah pergerakan saat *peak hour* tahun 2019 terjadi pada jam 12:45 – 13:44 dengan total pergerakan sebesar 90 pergerakan pesawat. Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan total pergerakan saat *peak hour* untuk tahun 2015 sebanyak 94 pergerakan, sedangkan untuk tahun 2019 sebanyak 90 pergerakan. Dari perbandingan tersebut terjadi penurunan pergerakan pesawat pada tahun 2019 dengan tahun 2015.

5.4 Simulasi Kapasitas *Runway* Menggunakan Metode *Time Space Analysis*

Sebelum melakukan perhitungan kapasitas untuk simulasi, diperlukan pembagian penggunaan *runway* oleh pesawat untuk pergerakan saat kedatangan maupun keberangkatan. Diasumsikan bahwa *runway* 1 melayani pergerakan untuk terminal 1, *runway* 2 melayani pergerakan untuk terminal 2, dan *runway* 3 melayani pergerakan untuk terminal 3.

Tabel 5.13 Pembagian Pergerakan *Runway*

Arr/Dep	Total		Persentase	
	Arrival	Departure	Arrival	Departure
Runway 1	18	26	41%	59%
Runway 2	33	17	66%	34%
Runway 3	60	40	60%	40%

(Sumber: Tengku Annisa, 2016)

Dari tabel tersebut didapatkan masing-masing pergerakan kedatangan dan keberangkatan untuk masing-masing *runway*. Presentase kedatangan dan keberangkatan didapat dari hasil pembagian pesawat yang datang/berangkat dibagi dengan total pergerakan datang dan berangkat. Untuk *runway* 3 diasumsikan bahwa pesawat yang datang lebih banyak daripada pesawat yang berangkat dikarenakan belum adanya data eksisting saat *runway* 3 beroperasi yaitu sebesar 60% untuk *arrival* dan 40% untuk *departure*.

Untuk perhitungan simulasi kapasitas *runway* metode *time space analysis* menggunakan program bantu Microsoft Excel dengan data pergerakan saat *peak hour* yang sudah ditentukan sebelumnya. Langkah-langkah perhitungan menggunakan program bantu Microsoft Excel sebagai berikut:

1. Menentukan jadwal kedatangan, keberangkatan, dan campuran masing-masing kategori pesawat dengan menggunakan *random number* yang ada di program bantu *Microsoft Excel*
2. Menentukan matriks jarak pemisah minimum *arrival-arrival* untuk masing-masing kategori pesawat, *Heavy* diikuti *Heavy*, *Heavy* diikuti *Large* dan seterusnya.
3. Mendapatkan waktu antar kedatangan dengan cara membagi jarak pemisah minimum antar pesawat dengan kecepatan masing-masing pesawat.
4. Mendapatkan waktu kedatangan / keberangkatan (*Time of Arrival / Departure*) pesawat yang merupakan akumulasi dari waktu kedatangan antar pesawat.
5. Menentukan ROT (*Runway Occupancy Time*) dengan cara membagi panjang kebutuhan landasan *runway* dengan kecepatan masing-masing pesawat.
6. 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.

5.4.1 Simulasi Kapasitas *Runway* 1 Tahun 2019

Sebelum melakukan perhitungan perlu diketahui juga data kecepatan dan panjang kebutuhan pesawat untuk perhitungan *runway occupancy time*. Berikut data kecepatan dan panjang *runway* yang dibutuhkan pesawat untuk keberangkatan dan kedatangan :

Tabel 5.14 Kecepatan dan Panjang Kebutuhan Pesawat

Tipe Pesawat	Kategori	Kecepatan Take off (knots)	Kebutuhan Panjang Take off (m)	ROT Take off (menit)	Kecepatan landing (knot)	Kebutuhan panjang landing (m)	Min. Jarak threshold ketaxiway runway 1 (m)	Min. Jarak threshold taxiway runway 2 (m)	Min. Jarak threshold taxiway runway 3 (m)	ROT Landing (menit)		
										Runway 1	Runway 2	Runway 3
Airbus A319	C	135	1750	0,42	130	1350	1800	1530	2364	0,45	0,38	0,59
Airbus A320	C	145	2190	0,49	137	1440	1800	2070	2364	0,43	0,49	0,56
Airbus A321	C	145	2210	0,49	134	1600	1800	2070	2364	0,44	0,50	0,57
Airbus A330-200	C	145	2300	0,51	140	1800	2225	2215	2608	0,51	0,51	0,60
Airbus A330-300	C	145	2300	0,51	140	1700	1800	2215	2608	0,42	0,51	0,60
Airbus A350-900	D	150	888	0,19	155	888	1385	1390	2364	0,29	0,29	0,49
BAE System 146	C	125	1600	0,41	125	1200	1385	1530	2364	0,36	0,40	0,61
Boeing 737-300	C	140	1600	0,37	132	1400	1800	2070	2364	0,44	0,51	0,58
Boeing 737-400	C	150	2000	0,43	139	1500	1800	2070	2364	0,42	0,48	0,55
Boeing 737-500	C	139	1500	0,35	128	1400	1800	2070	2364	0,46	0,52	0,60
Boeing 737-800	D	145	2300	0,51	147	1600	1800	2215	2608	0,40	0,49	0,57
Boeing 737-900	D	149	2300	0,50	150	1700	1800	2215	2608	0,39	0,48	0,56
Boeing 747-400	D	185	3300	0,58	152	2130	2225	2215	2608	0,47	0,47	0,56
Boeing 777-300	D	168	3000	0,58	149	1800	2225	2215	2608	0,48	0,48	0,57
Boeing 787-800	C	165	2820	0,55	140	1520	1800	2070	2364	0,42	0,48	0,55
Embraer 195	C	138	2056	0,48	131	1323	1385	1530	2364	0,34	0,38	0,58

Untuk variasi persentase kategori pesawat didapatkan dari jumlah pergerakan pesawat kategori C atau D dibagi dengan total pesawat kategori C dan D. Variasi persentase kategori pesawat didapatkan dari pergerakan pesawat *peak hour* tahun 2015 seperti tabel dibawah ini.

Tabel 5.15 Variasi Persentase Kategori Pesawat

Tipe pesawat	Jumlah pergerakan	Persentase
C	42	45%
D	52	55%
Total	94	100%

Diperlukan juga persentase kedatangan dan keberangkatan untuk setiap *runway*. Dari data pergerakan kedatangan dan keberangkatan sebelumnya didapatkan persentase kedatangan dan keberangkatan sebagai berikut.

Tabel 5.16 Persentase Kedatangan dan Keberangkatan

Arr/Dep	Total		Persentase	
	Arrival	Departure	Arrival	Departure
<i>Runway 1</i>	18	26	41%	59%
<i>Runway 2</i>	33	17	66%	34%
<i>Runway 3</i>	60	4	60%	40%

(Sumber : Tengku Annisa)

Kemudian jarak minimum dari threshold menuju exit taxiway untuk menentukan *runway occupancy time* dari masing-masing pergerakan. Jarak threshold ke exit taxiway didapatkan dari program bantu Autocad..

Tabel 5.17 Jarak Threshold ke Exit Taxiway *Runway 1*

Runway 1	Taxiway	Jarak dari threshold 07R	Jarak dari threshold d 25 L
Taxiway 1	S1	3610	0
Taxiway 2	S2	3470	135
Taxiway 3	S3	2680	925
Taxiway 4	S4	2225	1385
Taxiway 5	S5	1810	1800
Taxiway 6	S6	1385	2225
Taxiway 7	S7	985	2625
Taxiway 8	S8	195	3410
Taxiway 9	S9	0	3610

Perhitungan dilakukan dengan kondisi operasi campuran (*mixed*). Langkah-langkah perhitungan akan dijelaskan seperti perhitungan berikut :

1. Menentukan jadwal kedatangan, keberangkatan, dan campuran masing-masing kategori pesawat dengan menggunakan *random number* yang ada di program bantu *Microsoft Excel*. Persentase ditunjukkan pada tabel 4.15 dengan diasumsikan jika nilai *random number* yang muncul kurang dari 0,45 maka termasuk kategori C dan jika lebih 0,45 termasuk kategori D. Sedangkan pembagian untuk arrival departure didasarkan pada tabel 4.16, jika *random number* kurang dari 0,41 maka termasuk arrival/kedatangan dan jika lebih dari 0,41 maka termasuk departure/keberangkatan.
2. Menentukan Pemisah Minimum
Penentuan jarak pemisah minimum menggunakan konsep leading (pesawat di depan) dan trailing (pesawat di belakang). Untuk penentuan jarak pemisah minimum dapat dilihat dari tabel dibawah ini.

Tabel 5.18 Jarak Pemisah Minimum

Leading	Trailing			
	C (Arrival) nm	D (Arrival) nm	C (Departure) detik	D (Departure) 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

3. Menentukan Waktu antar kedatangan

Waktu *interarrival time* didapat dari jarak pemisah minimum dengan approach speed masing-masing jenis pesawat.

Contoh perhitungan :

Jika pesawat didepan termasuk kategori pesawat D dan melakukan keberangkatan dengan approach speed sebesar 145 knots sedangkan pesawat dibelakang termasuk kategori pesawat D sedang melakukan kedatangan, maka perhitungannya:

$$\begin{aligned} \text{Interarrival time} &= \frac{2}{145} \times 60 \\ &= 0,83 \text{ menit} \end{aligned}$$

Perhitungan sama sesuatu dengan jarak pemisah minimum dan kondisi pesawat didepan dan yang dibelakang.

4. Time of Arrival (Waktu kedatangan/keberangkatan)

Time of arrival merupakan jumlah dari akumulasi interarrival time. Contoh perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Time of arrival} &= 0,83 \text{ menit} + 2 \text{ menit} \\ &= 2,83 \text{ menit} \end{aligned}$$

5. *Runway Occupancy Time*

Waktu pemakaian *runway* didapatkan dari pembagian panjang landasan dan kecepatan masing-masing pesawat.

Contoh perhitungan ROT :

Jika kecepatan landing 147 knots dan kebutuhan panjang landasan 1825 m, didapatkan :

1 knots = 0,51444 m/detik

$$\text{ROT} = \left(\frac{1825}{147 \times 0,51444} \right) / 60 = 0,40 \text{ menit}$$

Hasil perhitungan simulasi ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

Tabel 5.19 Perhitungan Simulasi Kapasitas *Runway* 1 Tahun 2019

No	Random number kategori pesawat	Random Number Arr/dep	Kategori pesawat arr/depp		Jarak pemisah min. Arr/dep		take off/landing speed (knot)	Interarrival Time Arr/Dep (menit)	time off arr/dep (menit)	ROT arr/Dep (menit)	Time Service (menit)
1	0,645	0,713	D	Departure			162				
2	0,780	0,364	D	Arrival	2	nm	150	0,74	0,74	0,44	1,18
3	0,084	0,970	C	Departure	120	detik	141	2,00	2,74	0,45	3,19
4	0,651	0,966	D	Departure	90	detik	162	1,50	4,24	0,54	4,78
5	0,289	0,335	C	Arrival	2	nm	134	0,74	4,98	0,43	5,41
6	0,267	0,208	C	Arrival	3	nm	134	1,34	6,32	0,43	6,75
7	0,056	0,674	C	Departure	60	detik	141	1,00	7,32	0,45	7,77
8	0,547	0,391	D	Arrival	2	nm	150	0,85	8,18	0,44	8,61
9	0,794	0,237	D	Arrival	3	nm	150	1,20	9,38	0,44	9,81
10	0,820	0,454	D	Departure	120	detik	162	2,00	11,38	0,54	11,92
11	0,320	0,265	C	Arrival	2	nm	134	0,74	12,12	0,43	12,54
12	0,068	0,074	C	Arrival	3	nm	134	1,34	13,46	0,43	13,89
13	0,383	0,762	C	Departure	60	detik	141	1,00	14,46	0,45	14,91
14	0,983	0,795	D	Departure	60	detik	162	1,00	15,46	0,54	16,00
15	0,928	0,838	D	Departure	120	detik	162	2,00	17,46	0,54	18,00
16	0,498	0,746	D	Departure	120	detik	162	2,00	19,46	0,54	20,00
17	0,822	0,567	D	Departure	120	detik	162	2,00	21,46	0,54	22,00
18	0,374	0,593	C	Departure	120	detik	141	2,00	23,46	0,45	23,91
19	0,791	0,299	D	Arrival	2	nm	150	0,85	24,31	0,44	24,75
20	0,576	0,706	D	Departure	120	detik	162	2,00	26,31	0,54	26,85
21	0,761	0,631	D	Departure	120	detik	162	2,00	28,31	0,54	28,85
22	0,552	0,551	D	Departure	120	detik	162	2,00	30,31	0,54	30,85
23	0,317	0,948	C	Departure	120	detik	141	2,00	32,31	0,45	32,76
24	0,052	0,710	C	Departure	60	detik	141	1,00	33,31	0,45	33,76

Tabel 5.19 Perhitungan Simulasi Kapasitas *Runway* 1 Tahun 2019 (Lanjutan)

25	0,742	0,731	D	Departure	90	detik	162	1,50	34,81	0,54	35,35
26	0,206	0,883	C	Departure	60	detik	141	1,00	35,81	0,45	36,26
27	0,682	0,617	D	Departure	60	detik	162	1,00	36,81	0,54	37,35
28	0,687	0,198	D	Arrival	2	nm	150	0,74	37,55	0,44	37,99
29	0,999	0,061	D	Arrival	3	nm	150	1,20	38,75	0,44	39,19
30	0,507	0,795	D	Departure	120	detik	162	2,00	40,75	0,54	41,29
31	0,116	0,006	C	Arrival	2	nm	134	0,74	41,49	0,43	41,92
32	0,450	0,484	D	Departure	90	detik	162	1,50	42,99	0,54	43,54
33	0,975	0,053	D	Arrival	2	nm	150	0,74	43,73	0,44	44,17
34	0,259	0,375	C	Arrival	5	nm	134	2,00	45,73	0,43	46,16
35	0,863	0,836	D	Departure	60	detik	162	1,00	46,73	0,54	47,28
36	0,274	0,054	C	Arrival	2	nm	134	0,74	47,47	0,43	47,90
37	0,303	0,099	C	Arrival	3	nm	134	1,34	48,82	0,43	49,24
38	0,387	0,881	C	Departure	60	detik	141	1,00	49,82	0,45	50,27
39	0,357	0,852	C	Departure	60	detik	141	1,00	50,82	0,45	51,27
40	0,421	0,985	C	Departure	60	detik	141	1,00	51,82	0,45	52,27
41	0,776	0,050	D	Arrival	2	nm	150	0,85	52,67	0,44	53,10
42	0,878	0,590	D	Departure	120	detik	162	2,00	54,67	0,54	55,21
43	0,921	0,784	D	Departure	120	detik	162	2,00	56,67	0,54	57,21
44	0,738	0,183	D	Arrival	2	nm	150	0,74	57,41	0,44	57,84
45	0,814	0,325	D	Arrival	3	nm	150	1,20	58,61	0,44	59,04
46	0,279	0,024	C	Arrival	5	nm	134	2,00	60,61	0,43	61,03

Dari hasil perhitungan diatas didapat kapasitas *runway* 1 tahun 2019 menggunakan metode *time space analysis* sebesar 45 pergerakan dengan waktu 59,04 menit.

5.4.2 Simulasi Kapasitas *Runway* 2 Tahun 2019

Langkah-langkah perhitungan sama dengan contoh perhitungan simulasi kapasitas *runway* 1 sebelumnya. Persentase kategori pesawat menurut tabel 4.15 didapatkan jika random number kurang dari 0,45 maka termasuk kategori C jika lebih dari 0,45 maka termasuk kategori D. Untuk penentuan arrival atau departure didasarkan pada tabel 4.16, jika random kurang dari 0,34 maka termasuk departure dan jika random lebih dari 0,34 termasuk arrival. Untuk jarak threshold ke exit taxiway didapatkan sebagai berikut:

Tabel 5.20 Jarak Threshold ke Exit Taxiway *Runway 2*

Runway 2	Taxiway	Jarak dari threshold 07L	Jarak dari threshold 25 R
Taxiway 1	N1	3535	0
Taxiway 2	N2	3405	195
Taxiway 3	N3	2610	990
Taxiway 4	N4	2160	1445
Taxiway 5	N5	2070	1530
Taxiway 6	N6	1390	2215
Taxiway 7	N7	1020	2580
Taxiway 8	N8	606	2995
Taxiway 9	N9	0	3535

Hasil perhitungan kapasitas didapatkan seperti tabel berikut:

Tabel 5.21 Perhitungan Simulasi Kapasitas *Runway 2* Tahun 2019

No	Random number kategori pesawat	Random Number Arr/dep	Kategori pesawat arr/depp		Jarak pemisah min. Arr/dep		take off/landing speed (knot)	Interarrival Time Arr/Dep (menit)	time off arr/dep	ROT arr/Dep	Time Service
1	0,390	0,173	C	Departure			141				
2	0,476	0,606	D	Arrival	2	nm	150	0,85	0,85	0,48	1,33
3	0,436	0,859	C	Arrival	5	nm	134	2,00	2,85	0,47	3,32
4	0,457	0,225	D	Departure	120	detik	162	2,00	4,85	0,54	5,39
5	0,005	0,814	C	Arrival	2	nm	134	0,74	5,59	0,47	6,06
6	0,722	0,634	D	Arrival	3	nm	150	1,34	6,94	0,48	7,42
7	0,347	0,300	C	Departure	120	detik	141	2,00	8,94	0,45	9,38
8	0,728	0,336	D	Departure	90	detik	162	1,50	10,44	0,54	10,98
9	0,408	0,548	C	Arrival	2	nm	134	0,74	11,18	0,47	11,64
10	0,819	0,720	D	Arrival	3	nm	150	1,34	12,52	0,48	13,00
11	0,622	0,524	D	Arrival	3	nm	150	1,20	13,72	0,48	14,20
12	0,357	0,224	C	Departure	120	detik	141	2,00	15,72	0,45	16,17
13	0,930	0,673	D	Arrival	2	nm	150	0,85	16,57	0,48	17,05
14	0,961	0,215	D	Departure	120	detik	162	2,00	18,57	0,54	19,11
15	0,956	0,353	D	Arrival	2	nm	150	0,74	19,31	0,48	19,79
16	0,560	0,274	D	Departure	120	detik	162	2,00	21,31	0,54	21,85

Tabel 5.21 Perhitungan Simulasi Kapasitas *Runway 2* Tahun 2019 (Lanjutan)

17	0,782	0,230	D	Departure	120	detik	162	2,00	23,31	0,54	23,85
18	0,027	0,265	C	Departure	120	detik	141	2,00	25,31	0,45	25,76
19	0,635	0,687	D	Arrival	2	nm	150	0,85	26,16	0,48	26,64
20	0,171	0,458	C	Arrival	5	nm	134	2,00	28,16	0,47	28,63
21	0,879	0,202	D	Departure	90	detik	162	1,50	29,66	0,54	30,20
22	0,588	0,735	D	Arrival	2	nm	150	0,74	30,40	0,48	30,88
23	0,082	0,030	C	Departure	120	detik	141	2,00	32,40	0,45	32,85
24	0,148	0,240	C	Departure	60	detik	141	1,00	33,40	0,45	33,85
25	0,894	0,501	D	Arrival	2	nm	150	0,85	34,25	0,48	34,73
26	0,124	0,619	C	Arrival	5	nm	134	2,00	36,25	0,47	36,72
27	0,156	0,634	C	Arrival	3	nm	134	1,34	37,60	0,47	38,07
28	0,791	0,006	D	Departure	120	detik	162	2,00	39,60	0,54	40,14
29	0,748	0,517	D	Arrival	120	detik	150	2,00	41,60	0,48	42,08
30	0,949	0,130	D	Departure	2	nm	162	0,80	42,40	0,54	42,94
31	0,051	0,537	C	Arrival	120	detik	134	2,00	44,40	0,47	44,87
32	0,887	0,735	D	Arrival	2	nm	150	0,90	45,29	0,48	45,77
33	0,412	0,355	C	Arrival	5	nm	134	2,00	47,29	0,47	47,76
34	0,385	0,351	C	Arrival	3	nm	134	1,34	48,64	0,47	49,10
35	0,584	0,644	D	Arrival	2	nm	150	0,90	49,53	0,48	50,01
36	0,239	0,537	C	Arrival	120	detik	134	2,00	51,53	0,47	52,00
37	0,446	0,068	C	Departure	60	detik	141	1,00	52,53	0,45	52,98
38	0,915	0,160	D	Departure	2	nm	162	0,85	53,38	0,54	53,93
39	0,343	0,738	C	Arrival	5	nm	134	1,85	55,23	0,47	55,70
40	0,269	0,998	C	Arrival	3	nm	134	1,34	56,58	0,47	57,05
41	0,968	0,607	D	Arrival	120	detik	150	2,00	58,58	0,48	59,06
42	0,427	0,112	C	Departure	2	nm	141	0,80	59,38	0,45	59,83
42	0,35395	0,13985	C	Departure	60	detik	141	1,00	60,38	0,45	60,83

Dari perhitungan diatas didapatkan kapasitas *runway 2* tahun 2019 menggunakan metode time space analysis didapatkan pergerakan sebesar 42 pergerakan selama 59,83 menit. Sehingga kapasitas *runway 2* untuk tahun 2019 operasi campuran (*mixed*) sebesar 42 pergerakan.

5.4.3 Simulasi Kapasitas *Runway 3* Tahun 2019

Persentase kategori pesawat menurut tabel 4.15 didapatkan jika random number kurang dari 0,45 maka termasuk kategori C jika lebih dari 0,45 maka termasuk kategori D. Untuk penentuan arrival atau departure didasarkan pada tabel 4.16, jika random

kurang dari 0,4 maka termasuk departure dan jika random lebih dari 0,4 termasuk arrival.

Tabel 5.22 Jarak Threshold ke Exit Taxiway Runway 3

Runway 3	Nama Taxiway	Jarak dari Runway 06 (m)	Jarak dari Runway 24 (m)
Taxiway 1	M1	3000	0
Taxiway 2	M2	2364	636
Taxiway 3	M3	392	2608
Taxiway 4	M4	0	3000

Ketika pesawat bergerak di *runway* 3, pesawat harus melewati *runway* 2 untuk kemudian masuk ke terminal. Maka dibutuhkan perhitungan waktu penggunaan *exit taxiway* sampai dengan pesawat melewati ujung *runway* 2 kemudian pesawat masuk ke area apron. Perhitungan waktu penggunaan taxiway dilakukan sebagai berikut :

a. Perhitungan Waktu Tempuh di *Exit Taxiway*

Perhitungan dilakukan dengan membagi jarak tempuh dengan kecepatan pesawat saat di *exit taxiway*. Untuk kecepatan pesawat saat di *exit taxiway* didapatkan dari studi terdahulu oleh Zadly (2006). Berikut kecepatan dan perlambatan pesawat saat di *exit taxiway* :

Tabel 5.23 Kecepatan dan Pesawat di Runway

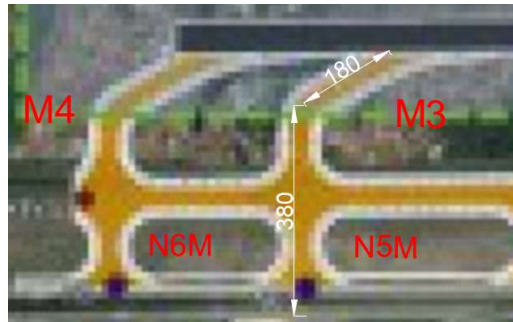
Kategori Pesawat	V_e <i>exit taxiway</i> (m/s)			Perlambatan di runway a (m/s ²)
	Sudut 30°	Sudut 45°	Sudut 90°	
A	30,87	20,58	7,72	1,52
B	30,87	20,58	7,72	1,52
C	30,87	20,58	7,72	1,52
D	30,87	20,58	7,72	1,52

(Sumber: Zadly, 2006)

Dari tabel diatas, didapatkan kecepatan di *exit taxiway* sebesar 30,87 m/s² karena diketahui kebutuhan dari panjang *landing* untuk runway 3 terletak pada *exit taxiway* M1 dan M2 dengan sudut 30°.

b. Jarak Tempuh Pesawat di Taxiway sampai Ujung Runway

Perhitungan jarak tempuh dengan menggunakan program bantu *Autocad*



Gambar 4.22 Jarak Tempuh Pesawat di *Taxiway*

Didapatkan total jarak sampai ujung runway/*crossing taxiway* sebesar 560 m.

c. Perhitungan Waktu Tempuh

Diketahui :

$$V_{\text{exit taxiway } 30^\circ} = 30,87 \text{ m/s}$$

$$V_t \text{ apron} = 7,716 \text{ m/s}$$

$$S = \text{panjang total jarak} = 560 \text{ m}$$

Perhitungan :

Perhitungan waktu di *exit taxiway* menggunakan rumus =

$$T = \frac{V_o - V_t}{a}$$

Dengan :

T : waktu di *exit taxiway* (s)

V_o : kecepatan di *exit taxiway* 30° (m/s)

V_t : kecepatan di *apron* (m/s)

a : perlambatan di *exit taxiway* (m/s²)

Diperlukan perhitungan perlambatan di *exit taxiway* terlebih dahulu. Rumus perhitungan sebagai berikut :

$$a = \frac{Vo^2 - Vt^2}{2s}$$

Didapatkan perlambatan sebesar :

$$a = \frac{30,87^2 - 7,716^2}{2 \times 560}$$

$$a = 0,798 \text{ m/s}^2$$

Untuk nilai T didapatkan sebagai berikut :

$$T = \frac{30,87 \text{ m/s} - 7,716 \text{ m/s}}{0,798 \text{ m/s}^2}$$

$$T = 29,026 \text{ detik} = 0,484 \text{ menit}$$

Jadi, waktu tempuh untuk penggunaan *exit taxiway* sampai ujung *runway 2* menuju apron didapatkan waktu sebesar 0,484 menit. Waktu tempuh ini dijumlahkan dengan ROT dan *interarrival time* untuk mendapatkan *time service*.

Hasil perhitungan simulasi kapasitas *runway 2* tahun 2019 menggunakan metode *time space analysis* dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 5.24 Perhitungan Simulasi Kapasitas *Runway 3* Tahun 2019

No	Random number kategori pesawat	Random Number Arr/dep	Kategori pesawat arr/depp	Jarak pemisah min. Arr/dep	take off/landing speed (knot)	Interarrival Time Arr/Dep (menit)	time off arr/dep (menit)	ROT arr/Dep (menit)	Waktu Tempuh Taxiway (menit)	Time Service
1	0,448	0,313	C Departure		141					
2	0,076	0,947	C Arrival	2 nm	134	0,85	0,85	0,59	0,48	1,92
3	0,226	0,574	C Arrival	3 nm	134	1,34	2,19	0,59	0,48	3,26
4	0,990	0,403	D Arrival	3 nm	150	1,34	3,54	0,57	0,48	4,59
5	0,448	0,561	C Arrival	5 nm	134	2,00	5,54	0,59	0,48	6,61
6	0,464	0,760	D Arrival	3 nm	150	1,34	6,88	0,57	0,48	7,93
7	0,705	0,079	D Departure	120 detik	162	2,00	8,88	0,54	0,48	9,91
8	0,107	0,258	C Departure	120 detik	141	2,00	10,88	0,45	0,48	11,81
9	0,664	0,033	D Departure	90 detik	162	1,50	12,38	0,54	0,48	13,41
10	0,045	0,372	C Departure	120 detik	141	2,00	14,38	0,45	0,48	15,31
11	0,216	0,936	C Arrival	60 detik	134	1,00	15,38	0,59	0,48	16,45
12	0,456	0,384	D Departure	90 detik	162	1,50	16,88	0,54	0,48	17,91

Tabel 5.24 Perhitungan Simulasi Kapasitas *Runway* 3 Tahun 2019 (Lanjutan)

13	0,450	0,973	C	Arrival	2	nm	134	0,74	17,62	0,59	0,48	18,69
14	0,668	0,101	D	Departure	90	detik	162	1,50	19,12	0,54	0,48	20,15
15	0,526	0,964	D	Arrival	2	nm	150	0,74	19,86	0,57	0,48	20,91
16	0,059	0,993	C	Arrival	5	nm	134	2,00	21,86	0,59	0,48	22,93
17	0,831	0,706	D	Arrival	3	nm	150	1,34	23,21	0,57	0,48	24,25
18	0,777	0,695	D	Arrival	3	nm	150	1,20	24,41	0,57	0,48	25,45
19	0,569	0,644	D	Arrival	3	detik	150	0,05	24,46	0,57	0,48	25,50
20	0,851	0,733	D	Arrival	3	nm	150	1,20	25,66	0,57	0,48	26,70
21	0,538	0,083	D	Departure	120	detik	162	2,00	27,66	0,54	0,48	28,68
22	0,005	0,497	C	Arrival	3	nm	134	1,11	28,77	0,59	0,48	29,84
23	0,302	0,803	C	Arrival	3	nm	134	1,34	30,11	0,59	0,48	31,18
24	0,093	0,787	C	Arrival	3	nm	134	1,34	31,45	0,59	0,48	32,52
25	0,747	0,803	D	Arrival	3	nm	150	1,34	32,80	0,57	0,48	33,85
26	0,311	0,099	C	Departure	120	detik	141	2,00	34,80	0,45	0,48	35,73
27	0,131	0,984	C	Arrival	2	nm	134	0,85	35,65	0,59	0,48	36,72
28	0,769	0,798	D	Arrival	3	nm	150	1,34	36,99	0,57	0,48	38,04
29	0,930	0,451	D	Arrival	3	nm	150	1,20	38,19	0,57	0,48	39,24
30	0,643	0,552	D	Arrival	3	nm	150	1,20	39,39	0,57	0,48	40,44
31	0,777	0,351	D	Departure	120	detik	162	2,00	41,39	0,54	0,48	42,42
32	0,336	0,501	C	Arrival	2	nm	134	0,74	42,13	0,59	0,48	43,20
33	0,516	0,601	D	Arrival	3	nm	150	1,34	43,48	0,57	0,48	44,52
34	0,116	0,688	C	Arrival	5	nm	134	2,00	45,48	0,59	0,48	46,54
35	0,467	0,278	D	Departure	90	detik	162	1,50	46,98	0,54	0,48	48,00
36	0,994	0,444	D	Arrival	2	nm	150	0,74	47,72	0,57	0,48	48,76
37	0,954	0,165	D	Departure	120	detik	162	2,00	49,72	0,54	0,48	50,74
38	0,034	0,342	C	Departure	120	detik	141	2,00	51,72	0,45	0,48	52,65
39	0,681	0,167	D	Departure	90	detik	162	1,50	53,22	0,54	0,48	54,24
40	0,955	0,092	D	Departure	120	detik	162	2,00	55,22	0,54	0,48	56,24
41	0,825	0,638	D	Arrival	3	nm	150	1,11	56,33	0,57	0,48	57,38
42	0,842	0,845	D	Arrival	3	nm	150	1,20	57,53	0,57	0,48	58,58
43	0,602	0,755	D	Arrival	3	nm	150	1,20	58,73	0,57	0,48	59,78
44	0,999	0,519	D	Arrival	3	nm	150	1,20	59,93	0,57	0,48	60,98

Dari perhitungan diatas didapatkan kapasitas *runway* 3 tahun 2019 menggunakan metode time space analysis didapatkan pergerakan sebesar 43 pergerakan selama 59,78 menit. Sehingga kapasitas *runway* 3 untuk tahun 2019 operasi campuran (*mixed*) sebesar 43 pergerakan.

5.5 Analisis Pengaruh *Crossing Taxiway* Terhadap Kapasitas *Runway* 2

Analisis yang dilakukan yaitu dengan melakukan simulasi pergerakan pesawat landing maupun take off di *runway* 2 dan

runway 3. Analisis dilakukan untuk untuk melihat pengaruh adanya *runway* 3 baru terhadap pergerakan pesawat yang menggunakan *runway* 2. Analisis dilakukan sesuai dengan prinsip operasional penggunaan bandara seperti ATS (*Air Traffic Rules Separation*).

5.5.1 Analisis Pemakaian *Runway* Menggunakan Prinsip ATS (*Air Traffic Separation*)

Analisis bertujuan untuk mengetahui kondisi sebenarnya pada simulasi pergerakan yang terjadi di fasilitas sisi udara bandara. Analisis menggunakan prinsip pemakaian *runway* berdasarkan prinsip *Air Traffic Separation* dimana adanya jarak separasi waktu pemakaian *runway* untuk menentukan kebutuhan waktu. Berdasarkan studi dari Tugas Akhir Dwangga (2017), prinsip analisis yaitu seperti berikut:

1. Tidak boleh ada dua pesawat atau lebih beroperasi pada waktu yang bersamaan di *runway*. Sehingga perlu diatur kembali untuk keadaan kedatangan (*arriving*) pesawat lebih diutamakan daripada pesawat yang berangkat (*departing*)
2. Pesawat yang berangkat boleh berangkat ketika kondisi *runway* sudah *clear* tanpa hambatan dan pesawat yang tiba berikutnya memiliki jarak tertentu dari ambang batas *runway* (*threshold*).

Untuk jarak antar waktu penerbangan di *runway* adalah sebagai berikut :

- Departure-departure = 2 menit
- Departure-Arrival = 1 menit
- Arrival-Departure = 1 menit
- Arrival-Arrival = 1 menit

Sebelum melakukan analisis perlu dilakukan rekapitulasi waktu dari simulasi yang telah dilakukan sebelumnya dengan menjumlahkan *Time Services* dengan jam *peak hour* eksisting.

Contoh :

Time Service = 10 menit

Waktu peak hour = 12.45

Maka, waktu pergerakan = 12.45 + 10 menit

= 12.55

Didapatkan hasil rekapitulasi waktu sebagai berikut :

Tabel 5.25 Data Waktu Pergerakan Pesawat di *Runway 2*

No.	Kategori pesawat arr/depp		take off/landi ng speed (knot)	Time Service (menit)	Waktu
1	C	Departure	141	-	12,45
2	D	Arrival	150	1	12,46
3	C	Arrival	134	3	12,48
4	D	Departure	162	5	12,50
5	C	Arrival	134	6	12,51
6	D	Arrival	150	7	12,52
7	C	Departure	141	9	12,54
8	D	Departure	162	11	12,56
9	C	Arrival	134	12	12,57
10	D	Arrival	150	13	12,58
11	D	Arrival	150	14	12,59
12	C	Departure	141	16	13,01
13	D	Arrival	150	17	13,02
14	D	Departure	162	19	13,04
15	D	Arrival	150	20	13,05
16	D	Departure	162	22	13,07
17	D	Departure	162	24	13,09
18	C	Departure	141	26	13,11
19	D	Arrival	150	27	13,12
20	C	Arrival	134	29	13,14
21	D	Departure	162	30	13,15
22	D	Arrival	150	31	13,16
23	C	Departure	141	33	13,18
24	C	Departure	141	34	13,19

Tabel 5.25 Data Waktu Pergerakan Pesawat di *Runway 2*
(Lanjutan)

25	D	Arrival	150	35	13,20
26	C	Arrival	134	37	13,22
27	C	Arrival	134	38	13,23
28	D	Departure	162	40	13,25
29	D	Arrival	150	42	13,27
30	D	Departure	162	43	13,28
31	C	Arrival	134	45	13,30
32	D	Arrival	150	46	13,31
33	C	Arrival	134	48	13,33
34	C	Arrival	134	49	13,34
35	D	Arrival	150	50	13,35
36	C	Arrival	134	52	13,37
37	C	Departure	141	53	13,38
38	D	Departure	162	54	13,39
39	C	Arrival	134	56	13,41
40	C	Arrival	134	57	13,42
41	D	Arrival	150	59	13,44
42	C	Departure	141	60	13,45

Tabel 5.26 Data Waktu Pergerakan Pesawat di *Runway 3*

No.	Kategori pesawat arr/depp		take off/landi ng speed (knot)	Time Service (menit)	Waktu
1	C	Departure	141	-	12,45
2	C	Arrival	134	1	12,47
3	C	Arrival	134	3	12,48
4	D	Arrival	150	4	12,50
5	C	Arrival	134	6	12,52
6	D	Arrival	150	7	12,53
7	D	Departure	162	9	12,55
8	C	Departure	141	11	12,57

Tabel 5.26 Data Waktu Pergerakan Pesawat di Runway 3
(Lanjutan)

9	D	Departure	162	13	12,58
10	C	Departure	141	15	13,00
11	C	Arrival	134	16	13,01
12	D	Departure	162	17	13,03
13	C	Arrival	134	18	13,04
14	D	Departure	162	20	13,05
15	D	Arrival	150	20	13,06
16	C	Arrival	134	22	13,08
17	D	Arrival	150	24	13,09
18	D	Arrival	150	25	13,10
19	D	Arrival	150	25	13,11
20	D	Arrival	150	26	13,12
21	D	Departure	162	28	13,14
22	C	Arrival	134	29	13,15
23	C	Arrival	134	31	13,16
24	C	Arrival	134	32	13,18
25	D	Arrival	150	33	13,19
26	C	Departure	141	35	13,21
27	C	Arrival	134	36	13,22
28	D	Arrival	150	38	13,23
29	D	Arrival	150	39	13,24
30	D	Arrival	150	40	13,25
31	D	Departure	162	42	13,27
32	C	Arrival	134	43	13,28
33	D	Arrival	150	44	13,30
34	C	Arrival	134	46	13,32
35	D	Departure	162	48	13,33
36	D	Arrival	150	48	13,34
37	D	Departure	162	50	13,36
38	C	Departure	141	52	13,38
39	D	Departure	162	54	13,39
40	D	Departure	162	56	13,41
41	D	Arrival	150	57	13,42
42	D	Arrival	150	58	13,44
43	D	Arrival	150	59	13,45

a. Analisis Separasi Waktu *Runway* 2 dan 3 Beroperasi Secara Independent.

Dari data simulasi pergerakan pesawat diatas dilakukan analisis terhadap separasi waktu pemakaian *runway* sesuai dengan ketentuan *Air Traffic Separation Rules*. Analisis dilakukan dengan menganggap bahwa *runway* 2 dan 3 beroperasi secara *independent*. Contoh menganalisis adalah sebagai berikut :

Diketahui :

Untuk kondisi Departure-Departure

Pergerakan pesawat pada *runway* 2

- Pergerakan pesawat ke-23 yaitu :
Kategori C Departure ,dengan waktu 13:18
- Pergerakan pesawat ke-24 yaitu :
Kategori C Departure, dengan waktu 13:19

Berdasarkan prinsip analisis sebelumnya:

1. Tidak boleh ada dua pesawat atau lebih beroperasi pada waktu yang bersamaan di *runway*. Sehingga perlu diatur kembali untuk keadaan kedatangan (*arriving*) pesawat lebih diutamakan daripada pesawat yang berangkat (*departing*)
Untuk keadaan menganggap bahwa *runway* 2 independent maka syarat pertama terpenuhi. (OK)
2. Pesawat yang berangkat boleh berangkat ketika kondisi *runway* sudah *clear* tanpa hambatan dan pesawat yang tiba berikutnya memiliki jarak tertentu dari ambang batas *runway* (*threshold*).
Untuk syarat kedua dilihat dari selisih waktu pergerakan $13:19 - 13:18 = 1$ menit. Menurut ketentuan untuk kondisi departure-departure adalah 2 menit. Maka syarat kedua tidak erpenuhi. (NOT OK)

Untuk kondisi Arrival-Departure

Pergerakan pada *runway* 2

- Pergerakan pesawat ketiga yaitu :
Kategori C Departure, dengan waktu 12:48
- Pergerakan pesawat keempat yaitu :
Kategori D Departure, dengan waktu 12:50

Berdasarkan prinsip analisis sebelumnya:

1. Tidak boleh ada dua pesawat atau lebih beroperasi pada waktu yang bersamaan di *runway*. Sehingga perlu diatur kembali untuk keadaan kedatangan (*arriving*) pesawat lebih diutamakan daripada pesawat yang berangkat (*departing*)
Untuk keadaan menganggap bahwa *runway 2* independent maka syarat pertama terpenuhi. (OK)
2. Pesawat yang berangkat boleh berangkat ketika kondisi *runway* sudah *clear* tanpa hambatan dan pesawat yang tiba berikutnya memiliki jarak tertentu dari ambang batas *runway* (*threshold*).
Untuk syarat kedua dilihat dari selisih waktu pergerakan 12:50 – 12:48 = 2 menit. Menurut ketentuan untuk kondisi arrivak-departure adalah 1 menit. Maka syarat kedua terpenuhi. (OK)

Pada contoh pertama untuk kondisi departure-departure syarat kedua tidak terpenuhi maka perlu dilakukan pengaturan jadwal terhadap penerbangan tersebut dan dicari waktu yang dapat diganti dari waktu sebelumnya sehingga diambil waktu pukul 13:47.

Tabel 5.27 Analisis Waktu Separasi *Runway 2*

No.	Kategori pesawat arr/depp		take off/landi ng speed (knot)	Time Service (menit)	Waktu	Selisih waktu (menit)	Kontrol	Revisi Waktu
1	C	Departure	141	-	12,45			
2	D	Arrival	150	1	12,46	1	OK	
3	C	Arrival	134	3	12,48	2	Ok	
4	D	Departure	162	5	12,50	2	OK	
5	C	Arrival	134	6	12,51	1	OK	
6	D	Arrival	150	7	12,52	1	OK	

Tabel 5.26 Analisis Waktu Separasi *Runway 2* (Lanjutan)

7	C	Departure	141	9	12,54	2	OK	
8	D	Departure	162	11	12,56	2	OK	
9	C	Arrival	134	12	12,57	1	OK	
10	D	Arrival	150	13	12,58	1	OK	
11	D	Arrival	150	14	12,59	1	OK	
12	C	Departure	141	16	13,01	2	OK	
13	D	Arrival	150	17	13,02	1	OK	
14	D	Departure	162	19	13,04	2	OK	
15	D	Arrival	150	20	13,05	1	OK	
16	D	Departure	162	22	13,07	2	OK	
17	D	Departure	162	24	13,09	2	OK	
18	C	Departure	141	26	13,11	2	OK	
19	D	Arrival	150	27	13,12	1	OK	
20	C	Arrival	134	29	13,14	2	OK	
21	D	Departure	162	30	13,15	2	OK	
22	D	Arrival	150	31	13,16	1	OK	
23	C	Departure	141	33	13,18	2	OK	
24	C	Departure	141	34	13,19	1	NOT OK	13,47
25	D	Arrival	150	35	13,20	1	OK	
26	C	Arrival	134	37	13,22	2	OK	
27	C	Arrival	134	38	13,23	1	OK	
28	D	Departure	162	40	13,25	2	OK	
29	D	Arrival	150	42	13,27	2	OK	
30	D	Departure	162	43	13,28	1	OK	
31	C	Arrival	134	45	13,30	2	OK	
32	D	Arrival	150	46	13,31	1	OK	
33	C	Arrival	134	48	13,33	2	OK	
34	C	Arrival	134	49	13,34	1	OK	
35	D	Arrival	150	50	13,35	1	OK	
36	C	Arrival	134	52	13,37	2	OK	
37	C	Departure	141	53	13,38	1	OK	
38	D	Departure	162	54	13,39	1	NOT OK	13,49
39	C	Arrival	134	56	13,41	2	OK	
40	C	Arrival	134	57	13,42	1	OK	
41	D	Arrival	150	59	13,44	2	OK	
42	C	Departure	141	60	13,45	1	OK	

Tabel 5.27 Analisis Waktu Separasi *Runway 3*

No.	Kategori pesawat arr/depp		take off/landi ng speed (knot)	Time Service (menit)	Waktu	Selisih waktu (menit)	Kontrol	Revisi Waktu
1	C	Departure	141	-	12,45	-		
2	C	Arrival	134	1	12,47	2	OK	
3	C	Arrival	134	3	12,48	1	OK	
4	D	Arrival	150	4	12,50	1	OK	
5	C	Arrival	134	6	12,52	2	OK	
6	D	Arrival	150	7	12,53	1	OK	
7	D	Departure	162	9	12,55	2	OK	
8	C	Departure	141	11	12,57	2	OK	
9	D	Departure	162	13	12,58	2	OK	
10	C	Departure	141	15	13,00	2	OK	
11	C	Arrival	134	16	13,01	1	OK	
12	D	Departure	162	17	13,03	1	OK	
13	C	Arrival	134	18	13,04	1	OK	
14	D	Departure	162	20	13,05	1	OK	
15	D	Arrival	150	20	13,06	1	OK	
16	C	Arrival	134	22	13,08	2	OK	
17	D	Arrival	150	24	13,09	1	OK	
18	D	Arrival	150	25	13,10	1	OK	
19	D	Arrival	150	25	13,11	1	OK	
20	D	Arrival	150	26	13,12	1	OK	
21	D	Departure	162	28	13,14	2	OK	
22	C	Arrival	134	29	13,15	1	OK	
23	C	Arrival	134	31	13,16	1	OK	
24	C	Arrival	134	32	13,18	1	OK	
25	D	Arrival	150	33	13,19	1	OK	
26	C	Departure	141	35	13,21	2	OK	
27	C	Arrival	134	36	13,22	1	OK	
28	D	Arrival	150	38	13,23	1	OK	
29	D	Arrival	150	39	13,24	1	OK	
30	D	Arrival	150	40	13,25	1	OK	
31	D	Departure	162	42	13,27	2	OK	
32	C	Arrival	134	43	13,28	1	OK	
33	D	Arrival	150	44	13,30	1	OK	
34	C	Arrival	134	46	13,32	2	OK	
35	D	Departure	162	48	13,33	1	OK	
36	D	Arrival	150	48	13,34	1	OK	
37	D	Departure	162	50	13,36	2	OK	
38	C	Departure	141	52	13,38	2	OK	
39	D	Departure	162	54	13,39	2	OK	
40	D	Departure	162	56	13,41	2	OK	
41	D	Arrival	150	57	13,42	1	OK	
42	D	Arrival	150	58	13,44	1	OK	
43	D	Arrival	150	59	13,45	1	OK	

b. Analisis Separasi Waktu *Runway* 2 dan 3 Beroperasi Secara Simultan

Analisis waktu separasi *runway* diatas dengan mengasumsikan bahwa *runway* 2 dan 3 *runway* dioperasikan secara terpisah dengan kedua *runway* tidak saling terhubung. Tetapi kondisi di lapangan, kedua *runway* saling berhubungan (*parallel runway*) dimana pergerakan pesawat di *runway* 3 harus melewati *runway* 2 aktif. Berdasarkan analisis kesesuaian *parallel runway* pada subbab 4.2, didapatkan bahwa pergerakan pesawat di kedua *runway* tidak bisa dilakukan secara bersamaan untuk take off dan landing. Sehingga perlu dilakukan simulasi pergerakan untuk kedua *runway* dengan berdasarkan aturan *Air Traffic Rules Separation*. Simulasi dilakukan dengan total waktu selama satu jam dengan mengurutkan pergerakan pesawat sesuai waktu *time in* yang dilakukan sebelumnya. Dari simulasi ini juga bisa didapatkan kapasitas dari kedua *runway*. Pengurutan jadwal pergerakan memprioritaskan pergerakan pesawat di *runway* 2 dikarenakan *runway* 2 adalah *runway* terdekat dengan terminal penumpang Bandara Internasional Soekarno Hatta. Prinsip analisis pengurutan jadwal sebagai berikut :

1. Pengurutan jadwal dilakukan dengan melihat data jadwal kedatangan dan keberangkatan yang sudah dilakukan sebelumnya yaitu pada tabel 5.25 untuk *runway* 2 dan tabel 5.26 untuk *runway* 3.
2. Memprioritaskan pergerakan pesawat di *runway* 2 daripada pergerakan di *runway* 3.
3. Pergerakan pesawat untuk kedatangan (*arrival*) lebih diutamakan dibandingkan keberangkatan (*departure*).
4. Jika ada jadwal waktu kedatangan dan keberangkatan yang sama pada kedua *runway*, dimasukkan terlebih dahulu waktu untuk kedatangan.
5. Jika ada jadwal waktu waktu kedatangan yang sama pada kedua *runway*, didahulukan untuk waktu kedatangan pada *runway* 2. Kemudian waktu kedatangan pada *runway* 3 dapat

dimasukkan dengan adanya revisi waktu sehingga pesawat harus *delay*.

6. Jika jadwal waktu kedatangan pada *runway* 2 dan 3 tidak ada pada menit tertentu, maka jadwal waktu keberangkatan dapat dimasukkan. Jadwal waktu keberangkatan yang dimasukkan yaitu jadwal keberangkatan paling awal kemudian dilakukan revisi waktu.

Berikut hasil pengurutan jadwal pergerakan di *runway* 2 dan 3 berdasarkan Air Traffic Rules Separation sesuai prinsip yang disebutkan sebelumnya.

Tabel 5.28 Pengurutan Jadwal Pergerakan *Runway* 2 dan *Runway* 3

No.	Kategori pesawat arr/depp		Jadwal Waktu Arr/De p	Selisih Waktu (menit)	Penggu naan Runway	Kontrol	Revisi Waktu	Waktu Aktual Arr/De p	Selisih Waktu Setelah Revisi (menit)	Waktu Delay (menit)
1	C	Departure	12,45	-	2	OK	-	12,45	-	0
2	D	Arrival	12,46	1	2	OK	-	12,46	1	0
3	C	Arrival	12,47	1	3	OK	-	12,47	1	0
4	C	Arrival	12,48	1	2	OK	-	12,48	1	0
5	C	Arrival	12,48	0	3	NOT OK	12,49	12,49	1	1
6	D	Arrival	12,50	1	3	OK	-	12,50	1	0
7	C	Arrival	12,51	1	2	OK	-	12,51	1	0
8	D	Arrival	12,52	1	2	OK	-	12,52	1	0
9	C	Arrival	12,52	-1	3	NOT OK	12,53	12,53	1	1
10	D	Arrival	12,53	1	3	NOT OK	12,54	12,54	1	1
11	C	Departure	12,45	-8	3	NOT OK	12,55	12,55	1	10
12	D	Departure	12,50	-5	2	NOT OK	12,57	12,57	2	7
13	C	Arrival	12,57	0	2	NOT OK	12,58	12,58	1	1
14	D	Arrival	12,58	0	2	NOT OK	12,59	12,59	1	1
15	D	Arrival	12,59	0	2	NOT OK	13,00	13,00	1	1
16	C	Arrival	13,01	1	2	OK	-	13,01	1	0
17	D	Arrival	13,02	1	2	OK	-	13,02	1	0
18	C	Departure	12,54	-8	2	NOT OK	13,03	13,03	1	9
19	C	Arrival	13,04	1	3	OK	-	13,04	1	0
20	D	Arrival	13,05	1	2	OK	-	13,05	1	0
21	D	Arrival	13,06	1	3	OK	-	13,06	1	0
22	D	Departure	12,55	-11	3	NOT OK	13,07	13,07	1	12
23	C	Arrival	13,08	1	3	OK	-	13,08	1	0
24	D	Arrival	13,09	1	3	OK	-	13,09	1	0

Tabel 5.28 Pengurutan Jadwal Pergerakan *Runway 2* dan *Runway 3* (Lanjutan)

25	D	Arrival	13,10	1	3	OK	-	13,10	1	0
26	D	Arrival	13,11	0	3	OK	-	13,11	1	0
27	D	Arrival	13,12	1	2	OK	-	13,12	1	0
28	D	Arrival	13,12	0	3	NOT OK	13,13	13,13	1	1
29	C	Arrival	13,14	1	2	OK	13,14	13,14	1	0
30	C	Arrival	13,15	1	3	OK	-	13,15	1	0
31	D	Arrival	13,16	1	2	OK	-	13,16	1	0
32	C	Arrival	13,16	0	3	NOT OK	13,17	13,17	1	1
33	C	Arrival	13,18	1	3	OK	-	13,18	1	0
34	D	Arrival	13,19	1	3	OK	-	13,19	1	0
35	D	Arrival	13,20	1	2	OK	-	13,20	1	0
36	D	Departure	12,56	-24	2	NOT OK	13,21	13,21	1	25
37	C	Arrival	13,22	1	2	OK	-	13,22	1	0
38	C	Arrival	13,22	0	3	NOT OK	13,23	13,23	1	1
39	C	Arrival	13,23	0	2	NOT OK	13,24	13,24	1	1
40	D	Arrival	13,23	-1	3	NOT OK	13,25	13,25	1	2
41	D	Arrival	13,24	-1	3	NOT OK	13,26	13,26	1	2
42	D	Arrival	13,25	-1	3	NOT OK	13,27	13,27	1	2
43	D	Arrival	13,27	0	2	NOT OK	13,28	13,28	1	1
44	C	Arrival	13,28	0	3	NOT OK	13,29	13,29	1	1
45	C	Arrival	13,30	1	2	OK	-	13,30	1	0
46	D	Arrival	13,30	0	3	NOT OK	13,31	13,31	1	1
47	D	Arrival	13,31	0	2	NOT OK	13,32	13,32	1	1
48	C	Arrival	13,32	0	3	NOT OK	13,33	13,33	1	1
49	C	Arrival	13,33	0	2	NOT OK	13,34	13,34	1	1
50	C	Arrival	13,34	0	2	NOT OK	13,35	13,35	1	1
51	D	Arrival	13,34	-1	3	NOT OK	13,36	13,36	1	2
52	D	Arrival	13,35	-1	2	NOT OK	13,37	13,37	1	2
53	C	Arrival	13,37	0	2	NOT OK	13,38	13,38	1	1
54	C	Departure	12,57	-41	3	NOT OK	13,39	13,39	1	42
55	C	Arrival	13,41	2	2	OK	-	13,41	2	0
56	C	Arrival	13,42	1	2	OK	-	13,42	1	0
57	D	Arrival	13,42	0	3	NOT OK	13,43	13,43	1	1
58	D	Arrival	13,44	1	2	OK	-	13,44	1	0
59	D	Arrival	13,44	0	3	NOT OK	13,45	13,45	1	1

Dari pengurutan jadwal selama satu jam didapatkan pergerakan pesawat sebanyak 59 pergerakan dengan 30 pergerakan di *runway 2* dan 29 pergerakan di *runway 3* berdasarkan aturan *Air Traffic Rules Separation* dengan mayoritas pergerakan kedatangan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari analisis yang telah dilakukan didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil analisis kesesuaian runway 2 dan runway 3 Bandara Internasional Soekarno-Hatta adalah sebagai berikut:
 - a. Panjang runway eksisting yaitu sebesar 3000 meter, setelah dilakukan evaluasi didapatkan kebutuhan panjang sebesar 3200 meter dengan menggunakan pesawat terbesar Boeing 747-400. Sedangkan lebar runway didapatkan lebar 45 meter, sehingga lebar runway eksisting sebesar 60 meter sudah terpenuhi.
 - b. Lebar *taxiway* setelah dilakukan analisis didapatkan lebar sebesar 25 meter, sedangkan lebar *taxiway* eksisting selebar 30 meter, sehingga sudah memenuhi peraturan standar dari ICAO dan FAA.
 - c. Berdasarkan ketentuan jarak pemisahan runway didapatkan jarak pemisah antara dua runway sebesar 500 meter. Dari analisis didapatkan untuk pendekatan *non-instrument* sudah terpenuhi, sedangkan untuk pendekatan *instrument* tidak terpenuhi, sehingga jika penerbangan berada pada cuaca buruk yang mengharuskan pesawat menggunakan pendekatan instrument dengan kondisi IFR (*Instrument Flight Rules*) tidak dapat dilakukan. Kedua runway tidak dapat digunakan secara bersamaan (*simultan*) untuk take off dan landing pesawat dikarenakan jaraknya yang terlalu dekat yang berkaitan dengan keselamatan pengoperasian bandara.
 - d. Didapatkan nilai *usability factor* 98%-99% dengan arah angin dominan 60° - 240°. Sehingga hasil analisis arah *runway* dengan kondisi eksisting sama dan sudah sesuai.
2. Hasil dari perhitungan kapasitas dengan menggunakan simulasi pergerakan pesawat:

- a. Untuk runway 1, dengan menggunakan simulasi metode *time space analysis* didapatkan kapasitas pergerakan sebesar 45 pergerakan dengan waktu 59,04 menit.
- b. Untuk runway 2, didapatkan kapasitas pergerakan pada runway sebesar 42 pergerakan selama 59,83 menit.
- c. Untuk runway 3, didapatkan kapasitas pergerakan pada runway sebesar 43 pergerakan selama 59,29 menit.

Total pergerakan dari perhitungan simulasi tiga *runway* paralel adalah 130 pergerakan pesawat per jam dengan menganggap *runway* 2 dan *runway* 3 sebagai *independent runway*.

3. Dari analisis pengaruh *crossing taxiway* dengan prinsip *Air Traffic Separation (ATS)* terhadap kapasitas *runway* 2 didapatkan kapasitas pergerakan pesawat sebesar 59 pergerakan. Kapasitas *runway* 2 berkurang dari perhitungan simulasi didapatkan 42 pergerakan menjadi 30 pergerakan dan kapasitas *runway* 3 berkurang menjadi 29 pergerakan saja. Sehingga adanya *crossing taxiway* menurunkan kapasitas pada *runway* 2 sebesar 12 pergerakan dan adanya penambahan *runway* 3 hanya meningkatkan operasi penerbangan sebanyak 17 pergerakan dibandingkan jika operasi pergerakan pesawat menggunakan *runway* 2 saja.

6.2 Saran

Permasalahan keterbatasan data dan waktu mengakibatkan penulis tidak maksimal dalam pengerjaan tugas akhir ini, mulai dari pengambilan data pergerakan pesawat dikarenakan terjadinya penurunan pergerakan pesawat akibat adanya pandemi Covid-19 sampai dengan pelaksanaan kegiatan perkuliahan diliburkan.

1. Perlu dilakukannya pengamatan secara langsung di lapangan untuk melihat kondisi pergerakan di *runway* 2 dan *runway* 3 dan pergerakan pesawat saat melewati *crossing taxiway*.
2. Perlunya pengambilan data primer untuk mendapatkan kapasitas eksisting.
3. Perlunya penambahan panjang *runway* 3 agar dapat memenuhi pesawat dengan beban maksimum

DAFTAR PUSTAKA

- Annisa, Tengku. (2016). **Studi Kinerja Tiga Runway Paralel di Bandara Soekarno-Hatta**. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Bureau, Australia Transport Safety (2009). **Runway Excursions Part 1 : A worldwide review of commercial jet aircraft runway excursions**. Australia: Australia Transport Safety Bureau
- Fadholi, Akhmad. (2013). **Analisis Komponen Angin Landas Pacu (Runway) Bandara Depati Amir Pangkalpinang**. Pangkalpinang: Stasiun Meteorologi Pangkalpinang.
- Hasan, M. Iqbal,. 2002. **Pokok-Pokok Materi Pengambilan Keputusan**. Jakarta. Ghalia Indonesia
- Horonjeff, R., McKelvey, F. X., Sproule, W. J., & Young, S. B. (2011). **Planning & Design Of Airports Fifth Edition**. New York: John Wiley & Som, Inc
- Nasional, B. S. (2005). SNI 03-7095-2005. **Tentang Marka dan Rambu Pada Daerah Pergerakan Pesawat Udara di Bandar Udara**. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional
- Nasional, B. S. (2005). SNI 03-7112-2005 **Tentang Kawasan Keselamatan Operasi Penerbangan**. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Nugraha, Dwangga Rizky. (2017). **Evaluasi Kinerja Apron dan Taxiway Terminal 1 Bandar Udara Juanda Sebelum Pembangunan Terminal 3 Bandar Udara Juanda**. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

- Oka, I Gusti Agung Ayu Mas. (2010). **Analisis Perhitungan Kapasitas Runway Bandar Udara Soekarno-Hatta**. Tangerang: Sekolah Tinggi Penerbangan Indonesia.
- Prasetya, Wahyu Dwi. (2017). **Penentuan Jumlah Exit Taxiway Berdasarkan Variasi Jenis Pesawat Dan Kerapatan Jadwal Penerbangan Pada Runway 1 Bandara Internasional Soekarno-Hatta Jakarta**. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Udara, D. P. (2005). **SKEP/77/VI/2005 Tentang Persyaratan Teknis Pengoperasian Fasilitas Teknik Bandar Udara**. Jakarta: Direktur Jenderal Perhubungan Udara.
- Wilogo, Satrio Rekso. (2014). **Simulasi Penentuan Jumlah dan Komposisi Pesawat Maksimum Pada Dua Paralel Runway**. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- World, ACI (2014). **Runway Safety Handbook**. Kanada: ACI World.

LAMPIRAN 1

Lampiran 1.1 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
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

Lampiran 1.1 Jadwal Kedatangan dan Keberangkatan *Runway* 1 (Lanjutan)

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

Lampiran 1.2 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 A330-200	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

Lampiran 1.2 Jadwal Kedatangan dan Keberangkatan *Runway* 2 (Lanjutan)

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
22	Saudi Arabian Airline	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

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN 2

Lampiran 2.1 Data Angin Bandara Internasional Soekarno-Hatta dari BMKG

Tanggal	Kec. Maks. (knots)	Arah	Angin Rata-Rata (knots)	Angin terbanyak
01-01-2014	6	350	2	SW
02-01-2014	8	300	3	NW
03-01-2014	8	330	3	W
04-01-2014	12	280	6	W
05-01-2014	13	240	6	W
06-01-2014	12	260	5	W
07-01-2014	10	230	3	NW
08-01-2014	5	230	2	S
09-01-2014	10	250	7	NE
10-01-2014	13	290	5	SW
11-01-2014	9	130	3	S
12-01-2014	12	10	3	S
13-01-2014	6	260	3	W
14-01-2014	10	230	4	NW
15-01-2014	10	280	3	NW
16-01-2014	11	300	4	NW
17-01-2014	12	310	6	NW
18-01-2014	12	260	5	NW
19-01-2014	8	260	3	NW
20-01-2014	12	270	5	NW
21-01-2014	10	310	4	W
22-01-2014	12	330	5	NW
23-01-2014	9	320	4	NW
24-01-2014	11	260	4	NW
25-01-2014	7	330	3	NW
26-01-2014	9	320	3	NW
27-01-2014	9	320	3	NW
28-01-2014	12	240	4	N
29-01-2014	11	250	4	NW

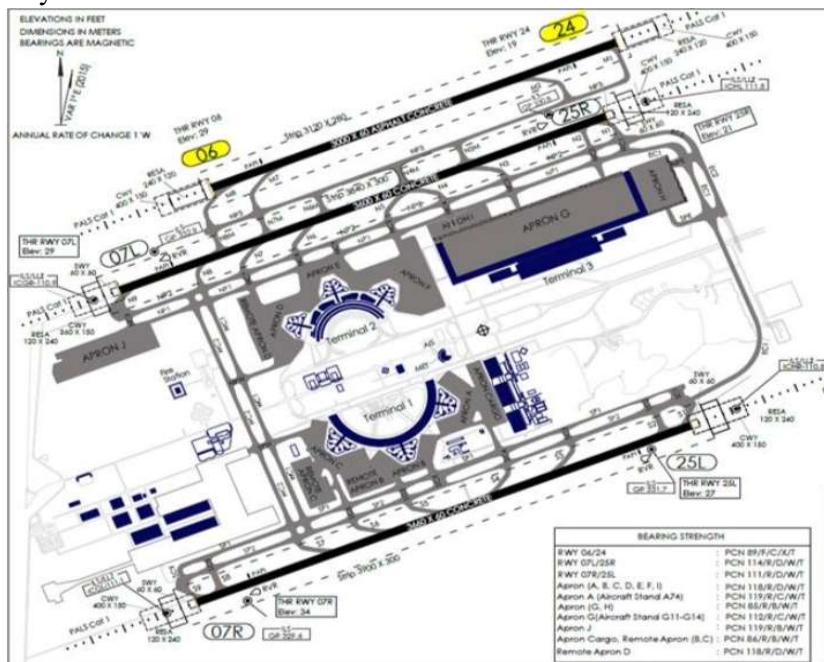
Lampiran 2.1 Data Angin Bandara Internasional Soekarno-Hatta dari BMKG (Lanjutan)

30-01-2014	9	320	3	NW
31-01-2014	11	310	3	NW
01-02-2014	7	280	4	NW
02-02-2014	7	320	4	NW
03-02-2014	5	40	3	N
04-02-2014	6	310	3	NW
05-02-2014	6	320	3	NW
06-02-2014	5	310	2	N
07-02-2014	7	270	3	W
08-02-2014	6	330	3	NW
09-02-2014	7	320	3	NW
10-02-2014	5	330	3	NW
11-02-2014	4	320	2	N
12-02-2014	6	340	3	N
13-02-2014	6	330	3	N
14-02-2014	6	350	3	N
15-02-2014	6	270	2	N
16-02-2014	6	320	2	N
17-02-2014	7	320	3	NE
18-02-2014	6	320	3	NW
19-02-2014	5	340	2	NW
20-02-2014	6	350	3	N
21-02-2014	7	310	3	NW
22-02-2014	8	250	3	NW
23-02-2014	5	320	3	NW
24-02-2014	7	320	3	S
25-02-2014	6	330	3	NW
26-02-2014	4	90	3	SE
27-02-2014	3	50	2	NE
28-02-2014	4	330	2	N
01-03-2014	6	320	3	NW
02-03-2014	5	350	2	NW
03-03-2014	4	340	2	N
04-03-2014	5	360	2	N

*)Data angin tidak dilampirkan semua, dikarenakan data terlalu banyak yaitu data angin tahun 2014 sampai 2020

LAMPIRAN 3

Lampiran 3.1 Layout Bandara Internasional Soekarno-Hatta



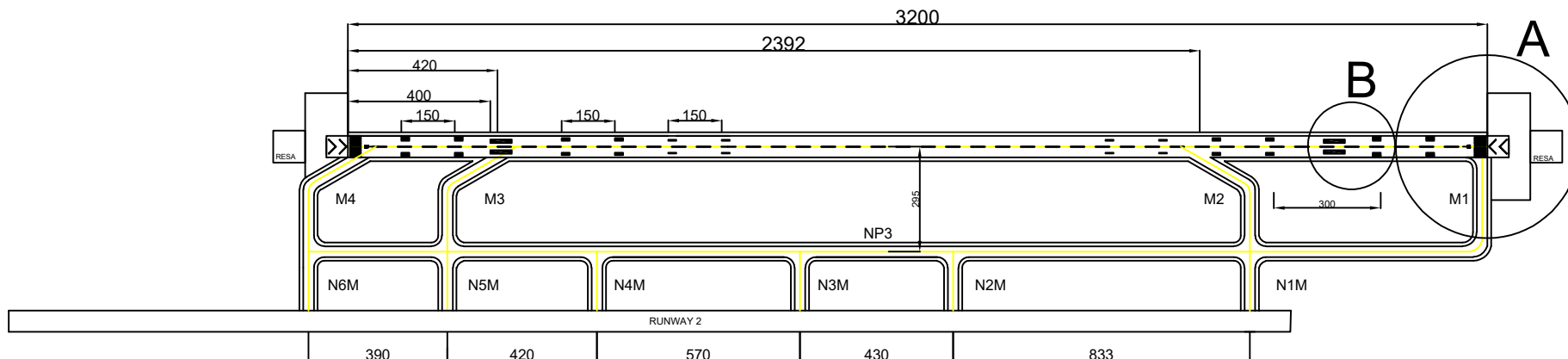
Lampiran 3.2 Gambar Layout *Runway 3* pada Google Earth



Lampiran 3.3 Gambar penambahan panjang *runway* pada *Runway 24*



“Halaman ini sengaja dikosongkan”



LAYOUT SISI UDARA RUNWAY 3 BANDARA INTERNASIONAL SOEKARNO HATTA

SKALA 1 : 125



INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH NOPEMBER

FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN,
DAN KEBUMIHAN
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

STUDI KINERJA RUNWAY 3 DAN
PENGARUH ADANYA CROSSING
TAXIWAY TERHADAP KAPASITAS
RUNWAY 2 DI BANDARA
INTERNASIONAL SOEKARNO-HATTA

DOSEN PEMBIMBING

Ir. ERVINA AHYUDANARI, M.E., Ph.D.

NAMA & NRP MAHASISWA

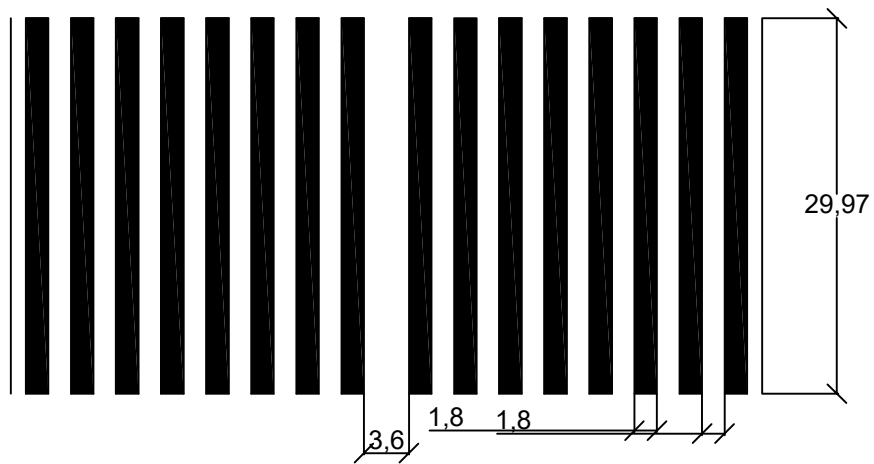
M. BAGUS INDRAWAN
0311164000017


NO. LEMBAR

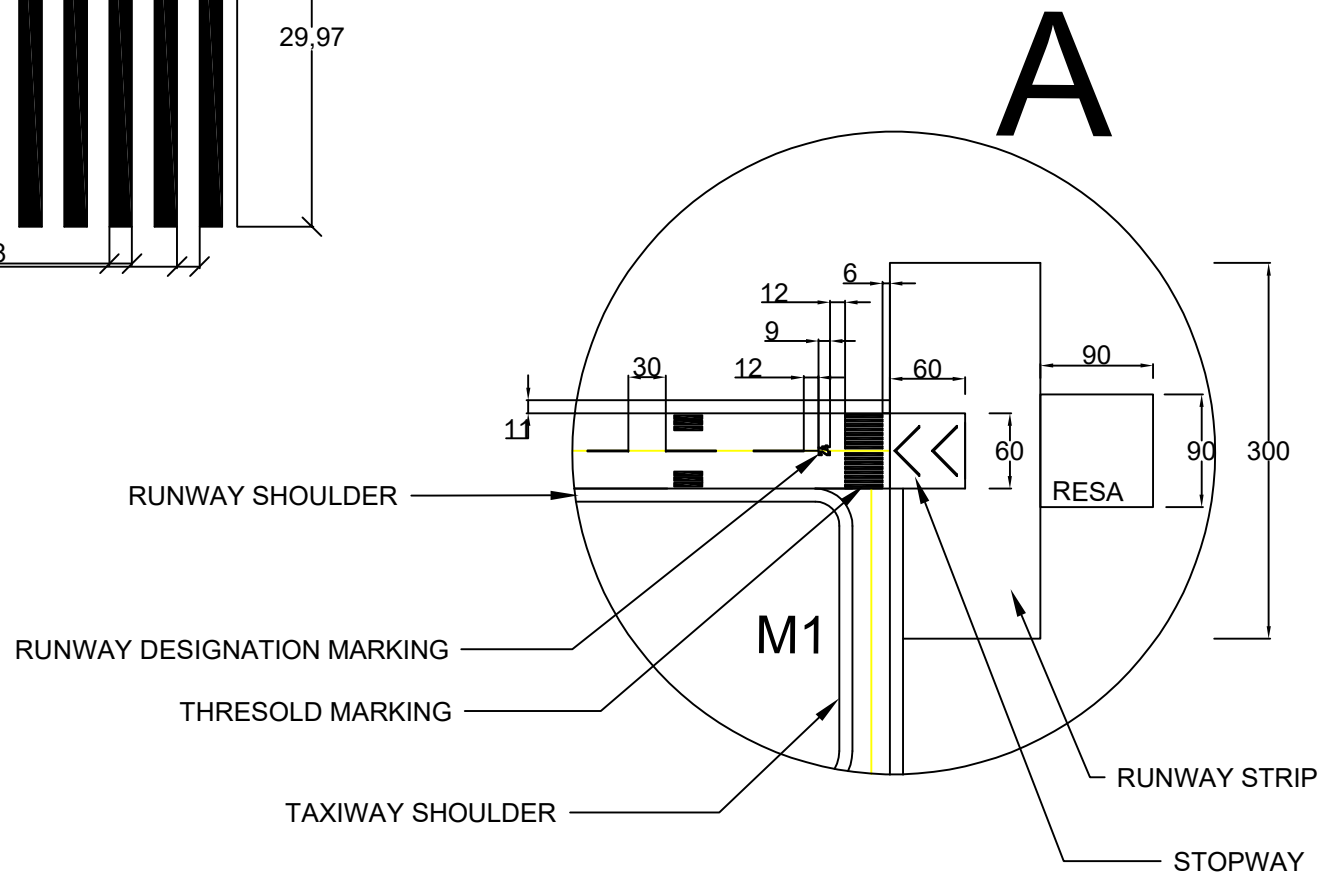
01

JML. LEMBAR


03

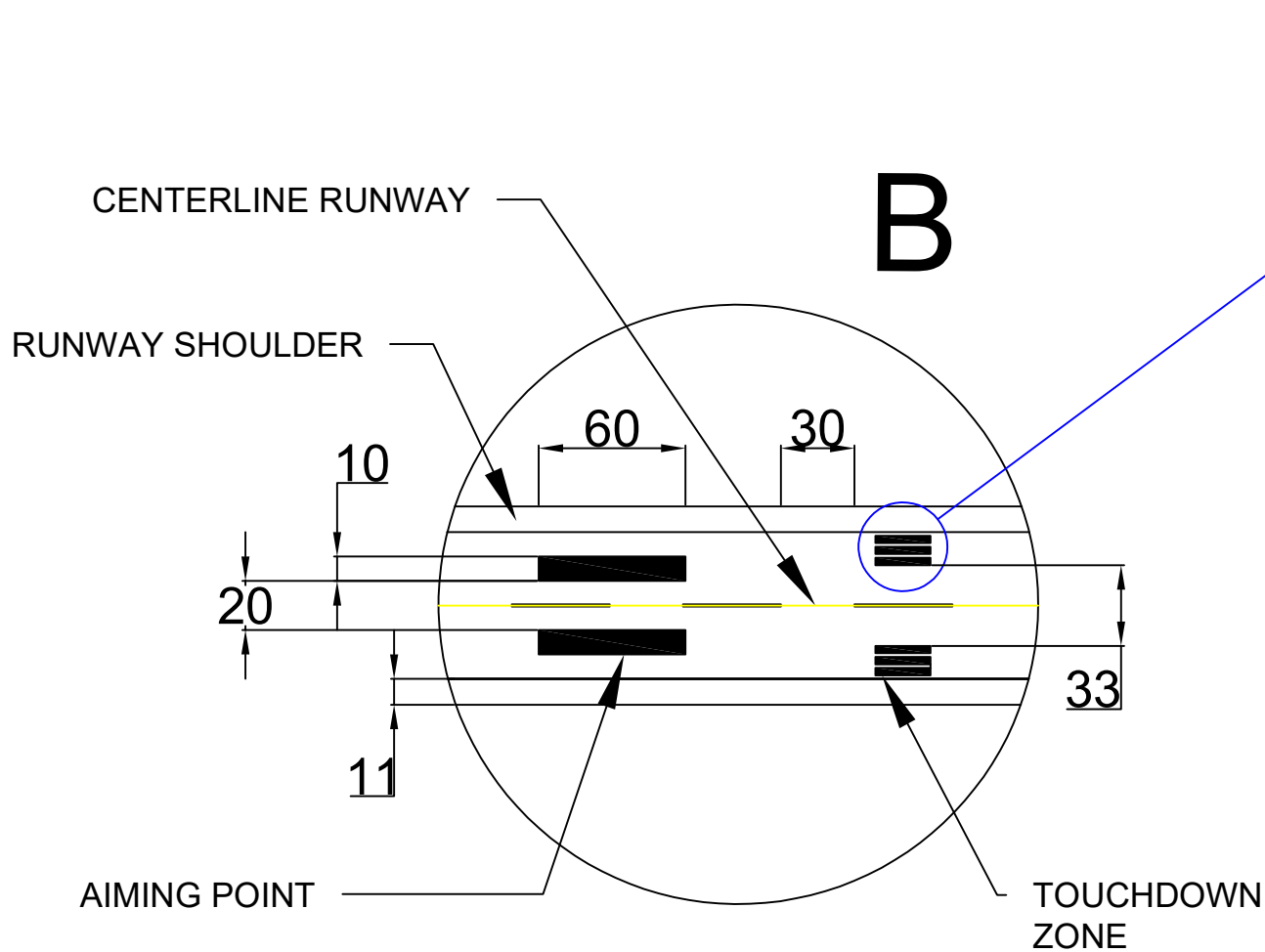



DETAIL THRESHOLD MARKING
 SKALA 1 : 10




DETAIL A
 SKALA 1 : 40

	INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA & NRP MAHASISWA	NO.LEMBAR	JML. LEMBAR
	FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIHAN DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL	STUDI KINERJA RUNWAY 3 DAN PENGARUH ADANYA CROSSING TAXIWAY TERHADAP KAPASITAS RUNWAY 2 DI BANDARA INTERNASIONAL SOEKARNO-HATTA	Ir. ERVINA AHYUDANARI, M.E., Ph.D.	M. BAGUS INDRAWAN 0311164000017	02	03



DETAIL TOUCHDOWN ZONE
SKALA 1 : 10

DETAIL B
SKALA 1 : 20

	INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	NAMA & NRP MAHASISWA	NO.LEMBAR	JML. LEMBAR
	FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIHAN DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL	STUDI KINERJA RUNWAY 3 DAN PENGARUH ADANYA CROSSING TAXIWAY TERHADAP KAPASITAS RUNWAY 2 DI BANDARA INTERNASIONAL SOEKARNO-HATTA	Ir. ERVINA AHYUDANARI, M.E., Ph.D.	M. BAGUS INDRAWAN 0311164000017	03	03

BIODATA PENULIS



Mokhammad Bagus Indrawan, Penulis dilahirkan di Blora, pada tanggal 10 Juli 1998, merupakan anak pertama dari 3 bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal di TK Gedongsari (2003-2005), MI Islamiyah Gedongsari (2005-2007), SD N 1 Wulung (2007-2010), SMP N 1 Randublatung (2010-2013), SMA N 1 Randublatung (2013-2014), SMA N 1 Blora (2014-2016). Penulis mengikuti Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi (SNMPTN) dan diterima di Departemen Teknik Sipil

ITS pada tahun 2016 dengan NRP 0311164000017. Selama masa perkuliahan, penulis aktif di beberapa kepanitiaan baik di lingkup departemen maupun di ITS, diantaranya staff kamjain di Pusaka UKTK ITS, staff dekor Farewell Party FTSP ITS, panitia Dies Natalis 60th Teknik Sipil ITS, staff perlengkapan Civil Games Dies Natalis 60th Teknik Sipil ITS, wakil koordinator Lomba Geoteknik Civil Expo ITS 2019, panitia Dialog Pasca Kampus BEM ITS 2018, dan Pemandu Integralistik di Gerigi ITS 2018. Selain itu, penulis juga mengikuti beberapa pelatihan diantaranya LKMM Pra-TD 2016, LKMW-TD 2017, Sekolah Kajian Strategis BEM ITS. Penulis juga aktif dalam kegiatan organisasi yaitu Staff Humas UKTK ITS (2016-2017), Staff Ahli Humas UKTK ITS (2017-2018), Staff Internal LDJ (2017-2018), Staff Adkesma BEM ITS (2017-2018), Ketua Region Surabaya FASMABA (Forum Alumni SMA N 1 Blora), Ketua Divisi BEF BASIS (Blora Students Association of Surabaya). Apabila pembaca ingin memberi kritik dan saran serta diskusi lebih lanjut mengenai Tugas Akhir ini dapat menghubungi melalui email mbagusindrawan@gmail.com