

MODEL KAPASITAS LANDAS PACU BANDAR UDARA

Imam Basuki

Staf Pengajar Fakultas Teknik
Program Studi Teknik Sipil
Universitas Atma Jaya Yogyakarta
Jl. Babarsari 44 Yogyakarta 55281
Telepon 0274-487711 faksimil 0274-487748
e-mail: imbas@mail.uajy.ac.id

Abstrak

Kapasitas landas pacu merupakan salah satu aspek penentu kapasitas sisi udara suatu bandar udara. Perhitungan kapasitas landas pacu dengan konfigurasi tunggal lebih kompleks dibandingkan dengan perhitungan kapasitas landas pacu dengan konfigurasi landas pacu lebih dari satu, karena dalam operasinya landas pacu tunggal melayani operasi campuran, untuk kedatangan dan keberangkatan pesawat terbang yang dilayani. Model kapasitas landas pacu untuk operasi campuran memperhitungkan tingkat kedatangan dan keberangkatan pesawat terbang dengan berbagai tipe dan berbagai kecepatan pendekatan pendaratan (approach anding speed) yang berbeda. Di samping, dengan memperhatikan situasi di mana kedatangan pesawat terbang mengalami suatu tingkat kesalahan tertentu dari yang semestinya, maka kapasitas landas pacu terpakai harus dikoreksi dengan memperhatikan hal tersebut. Dengan model kapasitas landas pacu bandar udara untuk operasi campuran dapat dibuat jadwal penerbangan yang aman bagi bandar udara tersebut.

Kata-kata kunci: model kapasitas, landas pacu, bandar udara, operasi campuran

PENDAHULUAN

Berdasarkan data yang ada di Departemen Perhubungan, perkembangan sektor transportasi udara untuk penerbangan domestik pada periode 2000 sampai dengan 2002 mengalami kenaikan yang sangat menggembirakan. Jumlah penumpang sempat anjlok dihantam krisis pada 1999, yaitu tinggal hanya 6,4 juta penumpang, tetapi pada tahun 2002 meningkat menjadi 11,4 juta penumpang, dan volume ini sudah mendekati angka sebelum Indonesia dilanda krisis ekonomi, yaitu 12,8 juta penumpang pada tahun 1997. Dengan tingkat pertumbuhan sebesar 24,5 % pada periode 2001-2002, maka dapat dikatakan bahwa industri penerbangan domestik akan pulih seperti sediakala. Dengan melihat tingkat persaingan tarif yang sangat kompetitif dengan moda transportasi lainnya dan dengan memperhatikan tingkat pertumbuhan penerbangan domestik saat ini, maka perlu dikaji tingkat kesiapan Bandar Udara yang terdapat di Indonesia untuk mengantisipasinya. Untuk mewujudkan maksud tersebut, maka mutlak diperlukan suatu perencanaan di suatu bandar udara, khususnya dalam penyediaan prasarana dan sarana yang mendukung mobilitas barang dan penumpang, sehingga pelayanan penerbangan menjadi lebih efisien dan efektif.

Masalah kebutuhan angkutan udara adalah suatu hal yang terus meningkat sejalan dengan pertambahan penduduk, kenaikan taraf hidup, pertumbuhan daerah industri, dan lain sebagainya. Untuk itu perlu diketahui sampai seberapa tingkat kemampuan suatu bandar udara untuk dapat menampung lonjakan penerbangan domestik saat ini, sehingga dapat diantisipasi sedini mungkin peningkatan fasilitas sarana dan prasarana penunjangnya.

Pada studi ini dibahas perhitungan kapasitas suatu bandar udara dalam menampung penerbangan domestik. Perhitungan kapasitas hanya dibatasi pada kemampuan sebuah bandar udara untuk dapat menampung tingkat keberangkatan dan kedatangan penerbangan, tanpa memperhitungkan keterkaitannya dengan bandar udara asal dan tujuan suatu penerbangan.

TINJAUAN PUSTAKA

Kapasitas Bandar Udara

Kapasitas adalah jumlah operasi pesawat terbang selama jangka waktu tertentu yang bersesuaian dengan tingkat tundaan (delay) rata-rata yang dapat diterima. Kapasitas dapat juga didefinisikan sebagai jumlah operasi pesawat terbang maksimum yang dapat dilakukan pada suatu bandar udara selama jangka waktu tertentu ketika terdapat permintaan akan pelayanan yang berkesinambungan.

Untuk kapasitas landas pacu dengan tundaan, terdapat dua model untuk landas pacu yang melayani kedatangan atau keberangkatan saja dan landas pacu yang melayani operasi campuran kedatangan dan keberangkatan. Untuk operasi campuran, di mana pesawat lepas landas dan datang dengan menggunakan satu landas pacu yang sama, pesawat terbang yang datang harus diberi prioritas.

Pada kapasitas tanpa tundaan terdapat dua pokok permasalahan, yaitu keadaan bebas kesalahan dan keadaan dengan adanya kesalahan posisi. Kondisi yang sebenarnya untuk landas pacu yang dipergunakan untuk operasi campuran kedatangan dan keberangkatan adalah kondisi di mana harus diperhitungkan akan adanya kesalahan posisi.

Kapasitas bebas kesalahan

Kapasitas bebas kesalahan dipengaruhi oleh waktu di mana dua pesawat terbang yang berurutan melewati ambang landas pacu. Hal tersebut dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$T_j - T_i = [T_{ij}] = [M_{ij}] \quad (1)$$

dengan:

T_i = waktu di mana pesawat terbang i yang di depan melewati ambang landas pacu

T_j = waktu di mana pesawat terbang j yang di belakang melewati ambang landas pacu

$[T_{ij}]$ = matriks pemisahan waktu sebenarnya di ambang landas pacu untuk dua kedatangan yang berturutan, pesawat terbang dengan kelas kecepatan i diikuti oleh pesawat terbang dengan kelas kecepatan j .

$$E[T_{ij}] = \sum p_{ij} M_{ij} = \sum p_{ij} T_{ij} \quad (2)$$

dengan:

$E[T_{ij}]$ = waktu pelayanan rata-rata atau waktu antar kedatangan di ambang landas pacu untuk campuran pesawat terbang

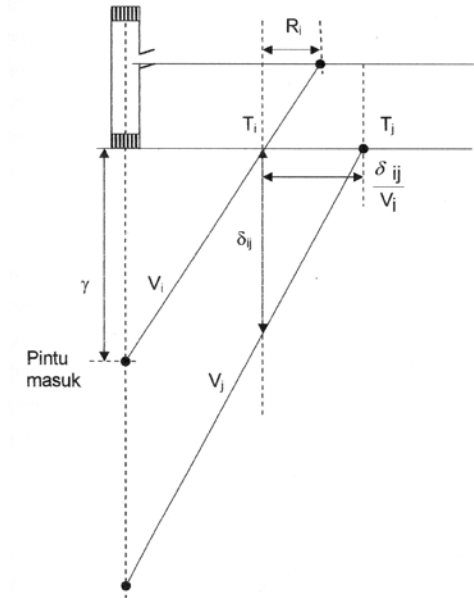
P_{ij} = probabilitas bahwa pesawat terbang yang di depan i , akan diikuti oleh pesawat terbang di belakangnya j

$$C = \frac{1}{E[T_{ij}]} \quad (3)$$

dengan:

C = kapasitas landas pacu untuk mengolah campuran pesawat yang datang.

Untuk mendapatkan waktu antar kedatangan di ambang landas pacu, perlu diketahui kecepatan pesawat terbang yang di depan, yaitu V_i , dan kecepatan pesawat terbang yang di belakangnya, yaitu V_j . Untuk lebih jelas hal tersebut diperlihatkan dengan diagram waktu-jarak, seperti yang ada pada Gambar 1.



Gambar 1 Diagram waktu-jarak untuk jarak antar kedatangan, keadaan merapat jika $V_i < V_j$

dengan:

γ = panjang jalur pendekatan umum ke landas pacu.

δ_{ij} = jarak pisah minimum yang diperbolehkan di antara dua pesawat terbang yang datang berurutan, pesawat terbang i di depan dan pesawat terbang j di belakang, di sembarang tempat di sepanjang jalur pendekatan umum.

V_i = kecepatan saat mendekati landas pacu pesawat terbang yang di depan kelas i.

V_j = kecepatan saat mendekati landas pacu pesawat terbang yang di belakang kelas j.

R_i = waktu pemakaian landas pacu pesawat terbang di depan kelas i.

Dalam perhitungan waktu pemisahan di ambang landas pacu untuk dua kedatangan yang berturutan T_{ij} terdapat dua keadaan, yaitu:

(a) Keadaan Merapat ($V_i < V_j$).

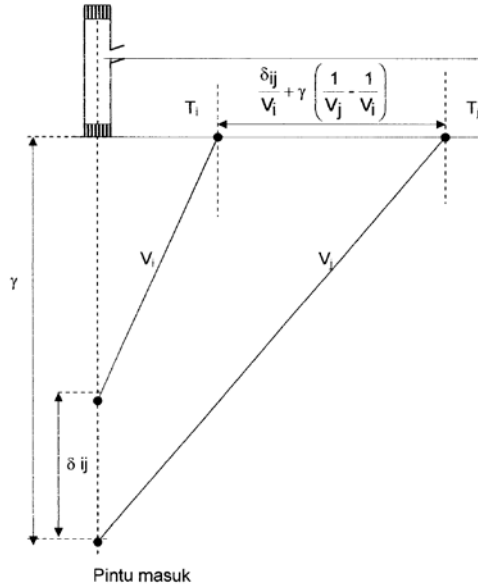
Seperti yang terlihat pada Gambar 1, persamaan untuk keadaan ini adalah:

$$T_{ij} = T_j - T_i = \frac{\delta_{ij}}{V_j} \quad (4)$$

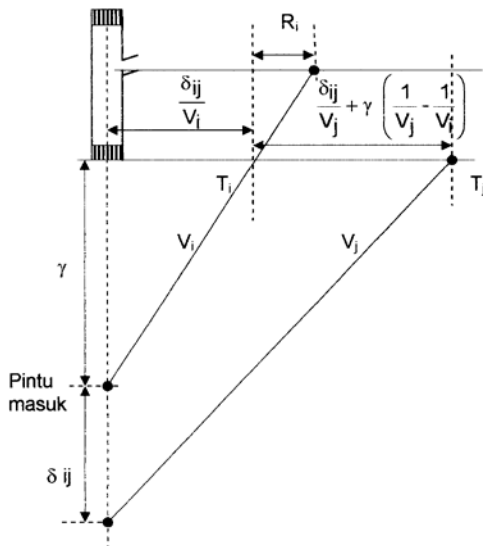
(b) Keadaan Merenggang ($V_i > V_j$)

Terlihat pada Gambar 2 dan Gambar 3, persamaan untuk keadaan di mana pengendalian hanya dilakukan dari jalur masuk hingga ke ambang landas pacu, adalah:

$$T_{ij} = T_j - T_i = \frac{\delta_{ij}}{V_i} + \gamma \left(\frac{1}{V_j} - \frac{1}{V_i} \right) \quad (5)$$



Gambar 2 Diagram waktu-jarak untuk jarak antar kedatangan, keadaan merenggang di mana $V_i > V_j$, pengendalian pesawat terbang dari jalur masuk hingga ke ambang landas pacu



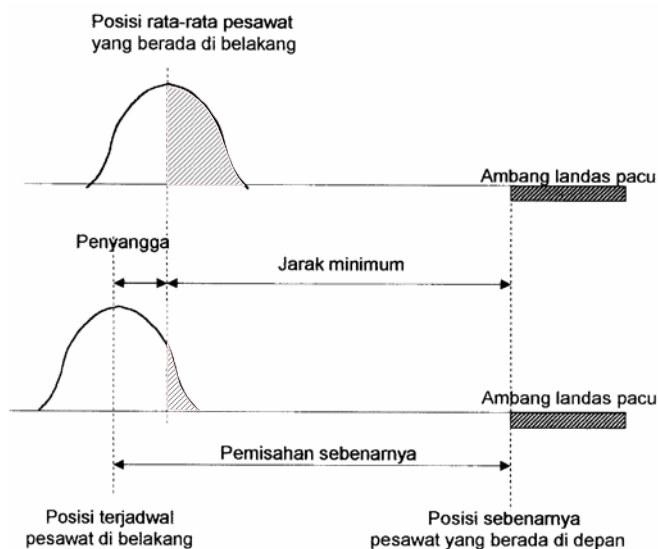
Gambar 3 Diagram waktu-jarak untuk jarak antar kedatangan, keadaan merenggang di mana $V_i > V_j$, untuk kedua pesawat terbang yang terpisah di sekitar jalur masuk

Apabila pengendalian dilakukan untuk mempertahankan pemisahan di antara kedua pesawat terbang ketika pesawat terbang yang berada di depan melewati jalur masuk, seperti terlihat pada Gambar 3, persamaannya adalah :

$$T_{ij} = T_j - T_i = \frac{\delta_{ij}}{V_j} + \gamma \left(\frac{1}{V_j} - \frac{1}{V_i} \right) \quad (6)$$

Kapasitas dengan kesalahan posisi

Untuk memperhitungkan kesalahan posisi digunakan waktu-sangga (buffer-time) terhadap waktu pisah minimum. Gambar 4 memperlihatkan posisi pesawat terbang yang berada di belakang ketika mendekati ambang landas pacu. Dalam kenyataannya para pengendali lalu lintas udara menjadwalkan pesawat terbang dengan memakai waktu-sangga (buffer-time), sehingga probabilitas pelanggaran terhadap aturan pemisahan minimum berada pada tingkat yang dapat diterima.



Gambar 4 Ilustrasi jarak waktu penyangga pada pemisahan sebenarnya di antara pesawat terbang apabila kesalahan posisi diperhitungkan

Matriks waktu-sangga $[B_{ij}]$ ditambahkan pada matriks bebas kesalahan untuk menentukan matriks waktu antar kedatangan sebenarnya, sehingga diperoleh:

$$E [T_{ij}] = \sum p_{ij} [M_{ij} + B_{ij}] \quad (7)$$

(a) Keadaan Merapat ($V_i < V_j$)

Misalkan $[T_{ij}]$ adalah selang waktu minimum sebenarnya di antara pesawat terbang kelas i dan j dan dianggap bahwa pemakaian landas pacu lebih kecil daripada $[T_{ij}]$. Nilai rata-rata $[T_{ij}]$

adalah $E [T_{ij}]$ dan e_o sebagai suatu kesalahan random yang didistribusikan secara normal, dengan simpangan baku σ_o . Maka setiap pasang kedatangan:

$$E [T_{ij}] = M_{ij} + B_{ij}$$

dan juga:

$$T_{ij} = M_{ij} + B_{ij} + e_o$$

Untuk keadaan ini pemisahan minimum di ambang landas pacu diberikan oleh persamaan 4, tujuannya untuk mendapatkan probabilitas pelanggaran p_v tertentu, yaitu besarnya penyangga yang dibutuhkan. Maka nilai penyangga dapat dihitung sebagai berikut:

$$B_{ij} = \sigma_o \cdot q_v \tag{8}$$

dengan:

$$q_v = \text{nilai di mana distribusi normal standar kumulatif mempunyai nilai } (1 - p_v)$$

(b) Keadaan Merenggang ($V_i > V_j$)

Secara matematis dinyatakan:

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

atau:

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

dengan menggunakan persamaan 5 dan persamaan 9, untuk menghitung jarak sebenarnya di ambang landas pacu dan disederhanakan, diperoleh:

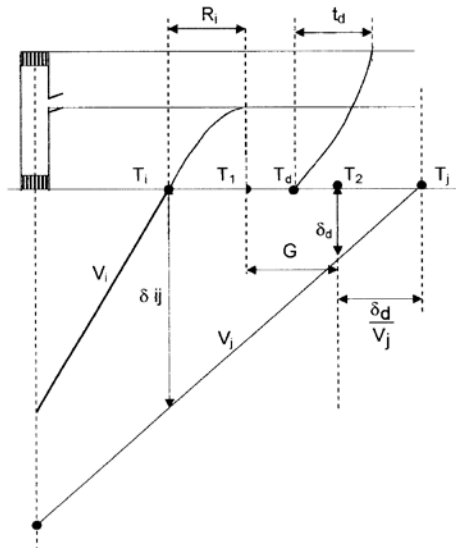
$$B_{ij} = \sigma_o \cdot q_v - \delta_{ij} \left(\frac{1}{V_j} - \frac{1}{V_i} \right) \tag{9}$$

Pengembangan Model-model untuk Operasi Campuran

Model ini didasarkan pada empat aturan pengoperasian, yaitu:

- (a) Kedatangan mempunyai prioritas daripada keberangkatan.
- (b) Hanya satu pesawat terbang dapat berada di landas pacu pada sembarang waktu.
- (c) Keberangkatan tidak dapat dilaksanakan apabila pesawat terbang yang datang berikutnya berada pada jarak yang kurang dari suatu jarak tertentu dari ambang landas pacu, yang biasanya 2 nmi pada kondisi Instrument Flight Rules (IFR).
- (d) Keberangkatan yang berturutan diatur sehingga pemisahan waktu minimum sama dengan waktu pelayanan keberangkatan.

Diagram waktu-jarak dapat digambarkan pada Gambar 5 untuk mengurutkan operasi campuran menurut aturan-aturan tersebut yang telah diuraikan.



Gambar 5 Diagram waktu-jarak untuk antarkedatangan, operasi campuran pada suatu sistem landas pacu

Pesawat terbang yang datang diurutkan dengan pemisahan minimum dan keberangkatan tidak dapat dilakukan kecuali terdapat perbedaan waktu G di antara kedatangan yang berurutan. Hal ini dapat dituliskan sebagai berikut:

$$G = T_2 - T_1 > 0$$

Oleh karena itu dapat ditulis:

$$T_2 - T_1 > \left(T_j - \frac{\delta_d}{V_j} \right) - (T_i + R_i) > 0$$

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

$$T_j - T_i > R_i + \frac{\delta_d}{V_j}$$

Dengan pengembangan sederhana persamaan ini, waktu antar kedatangan rata-rata yang dibutuhkan $E[T_{ij}]$ untuk melakukan n keberangkatan di antara dua kedatangan dinyatakan dengan persamaan:

$$E[T_{ij}] > E[R_i] + E\left[\frac{\delta_d}{V_j}\right] + (n-1)E[t_d] \quad (10)$$

CONTOH PEMODELAN KAPASITAS

Pemakaian Landas Pacu

Jadwal penerbangan regular suatu bandar udara selama 1 minggu dan karakteristik pesawat terbang yang dilayani oleh suatu bandar udara diperlukan dalam analisis kapasitas. Sebagai contoh

diambil kasus untuk bandar udara Adisutjipto, Yogyakarta. Karakteristik pesawat terbang yang dilayani ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 1 Data karakteristik pesawat terbang

TYPE	MTOW (kg)	Jumlah Penumpang	Panjang Runway (m)	Kecepatan Pendekatan (knots)	Kode (berdasar kec. Pendekatan)
ATR 42	16.900	48	1.100	120	F
DH33	18.600	30	1.200	120	F
F28	33.369	85	1.220	125	E
F100	45.000	98	1.070	125	E
MD82	67.873	152	2.100	150	A
B732	52.437	110	1.900	137	D
B733	61.290	134	1.900	137	D
B734	68.100	134	2.100	139	C
B735	60.609	132	1.600	140	B

Dari jadwal penerbangan reguler dibuat jadwal secara berurutan antara kedatangan dan keberangkatan berdasarkan jam kerja, penggunaan apron beserta kecepatan pendekatan (approach speed) pesawat terbang yang digunakan.

Kapasitas Bebas Kesalahan

Dalam perhitungan ini panjang jalur pendekatan umum ke landas pacu (γ) diambil jarak sebesar 5 nmi dan jarak pisah minimum yang diperbolehkan di sembarang tempat di sepanjang jalur pendekatan umum (δ ij) sebesar 3 nmi. Pengendalian dilakukan juga untuk mempertahankan pemisahan di antara kedua pesawat terbang, ketika pesawat terbang yang berada di depan melewati jalur masuk. Langkah-langkah penyelesaiannya adalah dengan menggunakan persamaan 1 hingga persamaan 3.

Kapasitas Dengan Kesalahan Posisi

Kondisi ini pada dasarnya sama dengan perhitungan kapasitas bebas kesalahan posisi, hanya untuk memperhitungkan kesalahan posisi yang mungkin terjadi digunakan matriks waktu-sangga [Bij]. Dalam perhitungan matriks waktu-sangga ditentukan bahwa kesalahan yang terjadi yang didistribusikan secara normal mempunyai simpangan baku (σ) sebesar 30 detik dengan nilai di mana distribusi normal standar kumulatif (qv) mempunyai nilai sebesar 1,65 atau dengan kata lain kesalahan yang bisa diterima adalah sebesar 5%.

Kapasitas Campuran

Kapasitas campuran adalah kondisi sebenarnya di Bandar udara Adisutjipto, Yogyakarta, di mana pesawat terbang datang dan pesawat terbang berangkat menggunakan landas pacu yang sama serta memperhitungkan kondisi sebenarnya di mana mungkin terjadi kesalahan dalam tingkat tertentu yang bisa diterima. Perhitungan kapasitas operasi campuran ini pada dasarnya menggunakan persamaan 10, dengan $E[T_{ij}]$ adalah waktu antar kedatangan yang dibutuhkan untuk melakukan n keberangkatan di antara dua kedatangan dengan adanya penambahan faktor kesalahan, sehingga nilainya $E[T_{ij}] > E[R_i] + E\left[\frac{\delta_d}{V_j}\right] + (n-1)E[t_d] + B_{ij}$.

Untuk waktu pemakaian landas pacu saat kedatangan (R_i) digunakan nilai rata-rata 300 detik (5 menit), untuk waktu pemakaian landas pacu saat keberangkatan (t_d) digunakan nilai rata-rata 180 detik (3 menit), serta δ_d adalah jarak minimum pada jarak dimana pesawat terbang yang datang harus berada (dari ambang landas pacu) supaya keberangkatan dapat dilakukan adalah 2 nmi. Sebagai contoh, pada penerbangan hari Senin, dapat dilihat cuplikan jadwal penerbangan seperti yang ada pada Tabel 2.

Tabel 2 Cuplikan Jadwal Penerbangan Hari Senin

KEDATANGAN / ARRIVAL					REMARK AIRLINES	APP. SPEED TYPE	POSISI APRON	KEBERANGKATAN / DEPARTURE					REMARK AIRLINES	
NO	DARI	NO PNB	JAM	HARI				KE	NO PNB	JAM	HARI	TIPE		JML
NR	FROM	FLT NR	TIME	DAYS										
1	DPS	GA-241	6:10	DAILY	GARUDA	C	1							
2							2	SUB	MZ-518	6:15	DAILY	B-732	110	MERPATI
3							6	SUB	PAS-672	6:15	DAILY	F-100	98	PELITA AIR
4	JKT	AA-110	6:30	DAILY	ADAM AIR	B	5							

Perhitungannya adalah sebagai berikut:

(1) Waktu pemakaian landas pacu rata-rata $E(R_i)$ untuk pesawat terbang nomor urut 1 (GA-241) adalah sebesar 300 detik.

(2) Waktu yang diharapkan pesawat terbang yang datang berikutnya, dalam hal ini nomor urut 4

(AA-110) untuk menempuh jarak 2 nmi terakhir ke ambang landas pacu adalah $E\left[\frac{\delta_d}{V_j}\right]$,

yaitu sebesar $\left[\frac{2}{140}\right] * 3600 = 51,4286$ detik.

(3) Waktu pemakaian landas pacu rata-rata untuk kedatangan $E(t_d)$ untuk pesawat terbang nomor urut 2 (MZ-518) dan nomor urut 3 (PAS-672) adalah sebesar 360 detik.

(4) Penambahan faktor kesalahan B_{ij} sebesar 38,4 detik

Sehingga $E[T_{ij}]$ untuk contoh ini adalah sebesar 749,8286 detik atau 00:12:30 (12 menit 30 detik). Dengan demikian landas pacu sebenarnya dapat menerima kedatangan berikutnya, yaitu penerbangan nomor AA-110 dari Jakarta berselang 00:12:30 dari waktu kedatangan GA-241, yaitu pada pukul 06:22:30.

Waktu keberangkatan MZ-518 adalah 06:10:00 ditambah dengan E[Ri] sebesar 00:05:00, yaitu pukul 06:15:00 dan waktu keberangkatan PAS-672 adalah waktu keberangkatan MZ-518 ditambah E[td] sebesar 00:03:00, yaitu pukul 06:18:00.

Demikian juga perhitungan-perhitungan untuk kondisi yang lain pada masing-masing hari kerja selama satu minggu, sehingga diperoleh jadwal penerbangan yang optimum bagi Bandar udara Adisutjipto, Yogyakarta.

Perhitungan kapasitas campuran diperoleh dengan cara sebagai berikut:

- (1) Dengan menggunakan perhitungan seperti yang telah diuraikan sebelumnya, untuk penerbangan selama 1 hari dalam 1 minggu, diperoleh jadwal penerbangan optimum.
- (2) Waktu total pengoperasian optimum bandar udara dalam sehari adalah selisih waktu kedatangan awal pesawat terbang dengan kedatangan.
- (3) Kapasitas dihitung dengan jumlah pesawat terbang yang beroperasi dalam satu hari dibagi dengan waktu total pengoperasian optimum bandar udara dalam satu hari.

Hasil perhitungan kapasitas di bandar udara Adisutjipto Yogyakarta dalam satu minggu ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Kapasitas Bandar Udara Adisutjipto, Yogyakarta

Hari	Kapasitas (pesawat terbang/jam)		
	Bebas Kesalahan	Dengan Kesalahan Posisi	Kapasitas Campuran
Senin	43,15	28,09	16,50
Selasa	42,55	27,25	16,44
Rabu	43,10	27,52	16,34
Kamis	43,81	27,16	16,44
Jumat	43,59	27,62	16,27
Sabtu	43,17	27,55	16,70
Minggu	42,57	27,29	16,61
Jumlah	301,94	192,48	115,30
Rata-rata	43,13	27,50	16,47
	43	27	16

KESIMPULAN

Dengan perhitungan kapasitas bandar udara dari sisi udara suatu bandar udara dengan kondisi penerbangan yang ada saat ini dapat dihitung kapasitas optimumnya secara baik. Tetapi tentu saja hal ini tidak dapat berdiri sendiri karena sangat bergantung pada asal dan tujuan penerbangan yang terkait dengan bandar udara asal dan bandar udara tujuannya.

DAFTAR PUSTAKA

Basuki, I, dan Ervianto. 2004. *Perhitungan Kapasitas Bandar Udara Adi Sutjipto Yogyakarta* (Studi untuk Antisipasi Lonjakan Penerbangan Domestik Dewasa Ini). Laporan Hasil Penelitian, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

- Departemen Perhubungan, Dirjen Perhubungan Udara. 1992. *Manual Rencana Induk Bandar Udara*. Volume II. Jakarta.
- Horonjeff, R, and McKelvey, F.X. 1988. *Perencanaan Dan Perancangan Bandar Udara* (terjemahan), Edisi Ketiga, Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Tamin, Ofyar Z. 2000. *Perencanaan dan Pemodelan Transportasi*. Edisi kedua, Penerbit ITB, Bandung.
- <http://www.eng.ucalgary.ca/Civil/NLAircraft/Atrgpap.pdf> , diakses tanggal 6 Juni 2004.
- <http://www.vatsim-uk.org/useful/aircraft.asp> , diakses tanggal 4 Maret 2004.
- <http://www.planesimulation.com/737a.htm> , diakses tanggal 31 Maret 2004.
- http://www.danbbs.dk/~jbdk/duck_ac/ducklng4/ducklng4.txt, diakses tanggal 31 Maret 2004.
- <http://www.kompas.com/kompas-cetak/0407/28/ekonomi/1175915.htm>, diakses tanggal 3 Agustus 2004.

