

WAKTU TUNGGU TAKE OFF DAN LANDING PESAWAT UDARA PADA RUNWAY BANDAR UDARA SOEKARNO HATTA

Ari Susetyadi

Peneliti Bidang Transportasi Udara-Badan Litbang Perhubungan

Jln. Medan Merdeka Timur No. 5 Jakarta Pusat 10110

E-mail: litbangudara@yahoo.co.id

ABSTRACT

Congested airport runway flight this can cause air traffic control service queues at taxi way. If the waiting time in line is pretty solid, it will cause the loss of the use of aviation fuel. Therefore, the study aims to determine the average waiting time per aircraft during peak hours at Soekarno Hatta airport, it is necessary to penelirtian related to the above.

With the value of effective rate of one aircraft per minute, and the service per plane 4 minutes, then every 1 plane underserved, there are four planes waiting in line. Thus, for a plane to 4 had to wait for 16 minutes to take off and landing.

Keywords: runway, take off, landing

ABSTRAK

Padatnya penerbangan di runway bandar udara ini tentunya akan menimbulkan antrean pelayanan *air traffic control* pada *taxi way*. Apabila waktu tunggu dalam antrean cukup padat, tentunya akan menimbulkan kerugian dari penggunaan avtur, untuk mengetahui waktu tunggu rata-rata setiap pesawat udara saat *peak hours* di bandar udara Soekarno Hatta ini, maka perlu dilakukan penelitian terkait dengan hal tersebut diatas dengan menggunakan teori antrian pada *taxiway* Bandar udara Soekarno Hatta.

Dengan nilai laju efektif 1 pesawat permenit, dan dengan pelayanan per pesawat 4 menit, maka setiap 1 pesawat terlayani, masih terdapat 4 pesawat menunggu dalam antrean. Sehingga, untuk pesawat ke 4 harus menunggu selama 16 menit untuk dapat *take off* dan *landing*.

Kata kunci: landas pacu, take off, landing

PENDAHULUAN

Bandar udara Soekarno Hatta yang merupakan bandar udara terbesar di Indonesia telah menempati posisi bandar udara tersibuk nomor 12 (dua belas) dunia versi *Airport Council International (ACI)*. Bandar udara yang pada tahun 2011 telah

mendekati angka 52 (lima puluh dua) juta penumpang ini, harus melayani rata-rata 52 penerbangan setiap jamnya disaat *peak hours*.

Bandar udara Soekarno Hatta yang saat ini dilengkapi 125 *parking stand* di apron berencana akan menambah jumlahnya

menjadi 174 *parking stand* dengan kemampuan landasan menerima hingga 62 pergerakan per jam. Kepadatan aktifitas tersebut tentunya perlu diimbangi dengan peningkatan kapasitas bandar udara. Oleh sebab itu, PT. Angkasa Pura II akan melakukan rekonfigurasi *runway* 1 dan 2 dengan penambahan sejumlah *taxiway* serta memperluas kapasitas area parkir pesawat (*apron*). Selain itu, sebagai bandar udara internasional yang menduduki posisi 12 bandar udara tersibuk dunia, bandar udara ini akan melakukan pengembangan Terminal 3 serta merevitalisasi Terminal 1 dan 2 untuk menambah kapasitas pergerakan penumpang.

Bandar udara yang bertujuan menjadi bandar udara *aerotropolis* ini juga melakukan pembangunan terminal kargo baru (*cargo village*), melakukan pengembangan fasilitas penunjang (aksesibilitas dan fasilitas lain seperti area bisnis dan komersial), serta membangun *integrated building* yaitu bangunan penghubung antara Terminal 1 dan Terminal 2 yang multifungsi dan berkonsep *one stop service*.

Integrated building ini tidak sekadar menjadi bangunan penghubung, tetapi merupakan bangunan yang sarat dengan berbagai fasilitas layanan untuk pengguna jasa. Di antaranya pembangunan stasiun kereta api, moda transportasi antar terminal tak berawak (*people mover system*), terminal bus, mal, hotel, area parkir dan sebagainya.

Padatnya penerbangan di *runway* bandar udara ini tentunya akan menimbulkan antrean pelayanan *air traffic control* pada *taxi way*. Apabila waktu tunggu dalam antrean cukup padat, tentunya akan menimbulkan kerugian dari penggunaan

avtur. Oleh sebab itu, penelitian yang bertujuan untuk mengetahui waktu tunggu rata-rata setiap pesawat udara saat peak hours di bandar udara Soekarno Hatta yang akan berpengaruh terhadap waktu yang digunakan oleh pesawat yang akan *landing*

TINJAUAN PUSTAKA

1. Wikipedia, 2012: Jam sibuk atau jam puncak adalah bagian hari kepadatan transportasi umum mencapai puncaknya.
2. Wikipedia, 2012: *A people mover or automated people mover (APM) is a fully automated, grade-separated mass transit system. The term is generally used only to describe systems serving relatively small areas such as airports, downtown districts or theme parks, but is sometimes applied to considerably more complex automated systems.*
3. Bandar Udara Online (<http://bandaraonline.com/airport/pengertian-lepas-landas-take-off>), 2012, menyatakan beberapa hal sebagai berikut:
 - a. Lepas landas atau lebih dikenal dengan *Take off* adalah tahap penerbangan di mana suatu pesawat terbang pada suatu transisi dari berjalan di landasan taksi untuk terbang di udara, pada umumnya diatas suatu landasan pacu. Untuk balon udara, helikopter dan beberapa pesawat terbang dengan sayap khusus (seperti pesawat terbang Harrier), tidak memerlukan landasan pacu. Lepas landas adalah kebalikan dari mendarat.
 - b. Kecepatan diperlukan dalam

Lepas landas sangat bervariasi yaitu menurut faktor seperti kepadatan udara, pesawat terbang berat bruto, dan pesawat terbang bentuk wujud (posisi *flap* dan/atau *slat* bisa diterapkan). Kepadatan udara, pada gilirannya, dimakan karat oleh faktor seperti temperatur udara dan tingginya bidang. Hubungan ini antara temperatur, ketinggian, dan kepadatan udara dapat dinyatakan sebagai ketinggian kepadatan, atau ketinggian di dalam *Atmosfir Standard Internasional* yang dimana kepadatan akan sepadan dengan kepadatan udara yang nyata.

- c. Pesawat udara dirancang untuk beroperasi kecepatan tinggi (termasuk pesawat terbang komersil) mempunyai kesulitan tinggi saat mengangkat di kecepatan rendah yang ditemui selama lepas landas. Hal ini yang kemudian dicoba dengan memakai peralatan *high-lift*, meliputi *slats* dan pada umumnya *flap*, yang mana dapat meningkatkan permukaan sayap, dan menjadikan lebih efektif pada kecepatan rendah, sehingga dapat lebih terangkat. Posisi sayap lebih melebar sebelum *takeoff*, dan menarik kembali setelah pesawat mengudara. Sayap dapat juga menyebar pada lain waktu, seperti saat sebelum mendarat.
4. Bonhel, 2010, menyatakan Teori antrian adalah teori yang menyangkut studi matematis dari antrian-antrian atau baris-baris penungguan. Fenomena menunggu adalah hasil langsung dari keacakan dalam operasi sarana pelayanan secara umum, kedatangan

pelanggan dan waktu pelayanan tidak diketahui sebelumnya karena jika bisa diketahui, pengoperasian sarana tersebut dapat dijadwalkan sedemikian rupa sehingga akan sepenuhnya menghilangkan keharusan untuk menunggu.

Tujuan mempelajari pengoperasian sebuah sarana pelayanan dalam kondisi acak adalah untuk memperoleh beberapa karakteristik yang mengukur kinerja sistem yang sedang dipelajari. Dalam model antrian, interaksi antara pesawat dan pelayan adalah berkaitan dengan periode waktu yang diperoleh pesawat untuk menyelesaikan sebuah pelayanan, dalam antrian kedatangan pesawat umumnya disebut sebagai distribusi kedatangan (*arrival distribution*) dan distribusi waktu pelayanan (*service time distribution*).

Faktor-faktor penting dalam pengembangan model antrian :

- a. Cara memilih pesawat dari antrian untuk memulai pelayanan
1. FCFS (*first come first served*)
 2. LCFS (*last come first served*)
 3. SIRO (*served in random order*)
- b. Berkaitan dengan rancangan sarana dan pelaksanaan pelayanan
1. *Parallel served*
 2. *Serial served*
 3. *Random served*
- c. Berkaitan dengan rancangan sarana tersebut dan pelaksanaan pelayanan.
- d. Berkaitan dengan ukuran antrian yang diijinkan.
- e. Berkaitan dengan sifat sumber yang meminta pelayanan.

Unsur-unsur dasar model antrian bergantung pada faktor-faktor berikut:

- a. Distribusi kedatangan (kedatangan tunggal atau kelompok).
 - b. Distribusi waktu pelayanan (pelayanan tunggal atau kelompok).
 - c. Rancangan sarana pelayanan (stasiun serial, paralel atau jaringan).
 - d. Peraturan pelayanan (FCFS, LCFS, SIRO) dan prioritas utama.
 - e. Ukuran antrian (terhingga atau tidak hingga).
 - f. Sumber pemanggilan (terhingga atau tidak terhingga).
 - g. Perilaku manusia (perpindahan, penolakan atau pembatalan).
5. **Arifin Nugroho, Teori Antrian Markovian: Pendekatan Praktis, 2009** menyatakan bahwa sistem antrian atau sering disebut juga *waiting line theory* diciptakan pada tahun 1909 oleh seorang matematikawan dan insinyur berkebangsaan Denmark yang bernama A.K Erlang yang mempelajari fluktuasi permintaan fasilitas telepon dan keterlambatan pelayanannya. Teori ini pertama kali diperkenalkan pada tahun 1913 yang dimulai menggunakan konsep dan struktur sistem antrian sebelum mengembangkan model matematisnya. Teori ini dirancang untuk memperkirakan berapa banyak pelanggan menunggu dalam suatu garis antrian, kepanjangan garis tunggu, seberapa sibuk fasilitas pelayanan, dan apa yang terjadi bila waktu pelayanan atau pola kedatangan berubah.

Model Antrian

Teori antrian berkenaan dengan seluruh aspek dari situasi dimana pesawat harus antri untuk mendapatkan suatu layanan. Situasi antrian pesawat yang terjadi di

Bandar udara Internasional Soekarno Hatta adalah antrian terhadap pelayanan peralatan pengamanan bandara yaitu *X-Ray* dan *Metal Detector*.

Antrian terbentuk apabila jumlah yang akan dilayani melebihi kapasitas layanan yang tersedia. Dalam banyak hal, penambahan jumlah layanan dapat dipenuhi untuk mengurangi antrian atau menghindari antrian yang terus membesar.

Sistem antrian mencakup pesawat yang datang dengan laju konstan atau bervariasi untuk mendapatkan layanan pada suatu fasilitas layanan. Jika pesawat yang datang dapat memasuki fasilitas layanan, mereka dapat langsung dilayani. Jika pesawat harus menunggu dilayani, mereka berpartisipasi atau membentuk antrian, dan akan berada dalam antrian hingga mereka dapat giliran untuk dilayani. Mereka akan dilayani dengan laju layanan yang konstan atau bervariasi dan akhirnya meninggalkan sistem. Sistem antrian mencakup baik antrian dan fasilitas layanannya.

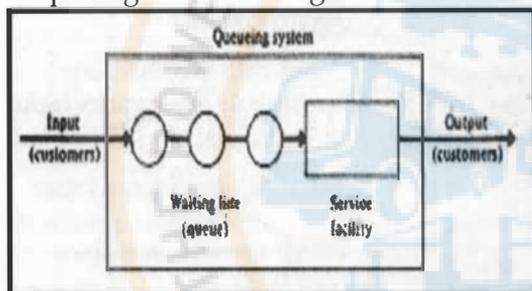
Terdapat beberapa tipe sistem antrian, akan tetapi semua itu dapat diklasifikasikan ke dalam ciri-ciri berikut:

- a. **Proses input atau kedatangan:** proses ini mencakup banyaknya kedatangan per satuan waktu, jumlah antrian yang dapat dibuat, maksimum panjang antrian, dan maksimum jumlah pesawat potensial (yang menghendaki layanan).
- b. **Proses layanan:** proses ini mencakup sebaran waktu untuk melayani seorang pesawat, banyaknya layanan yang tersedia, dan pengaturan layanan (paralel atau seri).
- c. **Disiplin antrian:** ini merupakan

bentuk dimana pesawat membentuk antrian: yang datang duluan dilayani duluan atau FIFO (*First In First Out*), yang datang terakhir dilayani duluan atau LIFO (*Last In First Out*), pemilihan secara acak, pemilihan berdasarkan prioritas, dan lain sebagainya. Dalam bagian ini, kita asumsikan bahwa:

- 1) Layanan mengikuti aturan siapa datang dahulu, akan dilayani dahulu pula (FIFO)
- 2) Datangnya Penumpang benar-benar secara acak namun dengan laju tertentu.
- 3) Sistem antrian berada dalam kondisi *steady-state*.

Untuk itu dapat dilihat model antrian pada gambar 1 sebagai berikut:



Gambar 1. Antrean dengan model FIFO (*First In First Out*)

Ketiga asumsi ini valid dalam kebanyakan sistem antrian yang realistik dan akan digunakan untuk menggambarkan penggunaan teori antrian dengan asumsi:

- 1) Menerangkan bahwa pesawat yang masuk dalam antrian duluan akan dilayani terlebih dahulu.
- 2) Sebelum menghitung banyaknya jumlah laju kedatangan pada antrian, maka perlu diketahui terlebih dahulu banyaknya peluang yang dapat terlayani tanpa harus menunggu dalam antrian sebagai berikut:

$$P_0 = \frac{1}{1 + \frac{\lambda}{\mu} + \frac{1}{2} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^2 + \frac{1}{6} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^3 \frac{1}{\left(1 - \frac{\lambda}{3\mu} \right)}}$$

Dimana:

P_0 = Peluang terlayani tanpa harus menunggu

λ = Laju Kedatangan

μ = Laju Layanan dalam sistem

3) Menerangkan bahwa setiap kedatangan memiliki kesempatan yang sama kapan saja dan tidak tergantung oleh waktu yang telah berlalu sejak kedatangan terakhir. Ini setara dengan mengatakan bahwa banyaknya kedatangan per satuan waktu merupakan peubah acak (*random variable*) yang menyebar menurut sebaran Poisson. Dimana bila X = banyaknya kedatangan per satuan waktu, maka

$$f(x) = P(X = x) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!}$$

$x = 0, 1, 2, \dots$
 $\lambda > 0$

dan

$$E(X) = \lambda$$

Dimana λ : banyaknya kedatangan per satuan waktu. Hasil menarik lainnya (asumsi (b)) adalah bahwa waktu diantara dua kedatangan berturutan, T (juga sering disebut dengan *interarrival time*) memiliki sebaran eksponensial dengan parameter yang sama, λ .

Jadi dapat disimpulkan, jika banyaknya kedatangan persatuan waktu memiliki sebaran *Poisson* dengan rata-rata λ , maka waktu diantara dua kedatangan memiliki sebaran eksponensial dengan rata-rata $1/\lambda$. Sistem antrian seperti ini dikatakan memiliki *input Poisson*, dan pesawat dikatakan datang mengikuti *Proses Poisson*.

Asumsi (c) berarti bahwa sistem antrian telah beroperasi cukup lama bebas dari keadaan awal sistem dan tidak tergantung dari waktu. Yang dimaksudkan disini adalah sistem telah berada pada suatu keadaan seimbang berdasarkan waktu. Sebaran jumlah kedatangan per satuan waktu dan sebaran waktu layanan tidak berubah berdasarkan waktu.

Misalkan

S_n = Banyaknya pesawat yang berada di dalam sistem

$P_n(t)$ = Peluang n pesawat berada dalam sistem pada waktu t

λ_n = Rataan laju kedatangan apabila n pesawat berada di dalam sistem (sedang menunggu atau dilayani)

μ_n = Rataan laju layanan apabila n pesawat berada di dalam sistem

Sistem yang berada dalam kondisi *steady-state* tidak berimplikasi bahwa laju kedatangan dan laju layanan bebas akan banyaknya pesawat dalam sistem. Untuk antrian terhingga, sumber yang terbatas, dan model layanan-ganda, λ_n dan μ_n merupakan fungsi dari jumlah pesawat dalam sistem. Dalam kondisi *steady-state*, kita akan gunakan notasi P_n - peluang n pesawat berada dalam sistem kapan saja.

Secara umum λ disebut sebagai laju kedatangan dan μ disebut sebagai laju layanan. Kita tertarik dalam pemodelan

darisistem ini dan mempelajari ciri penting darinya untuk menentukan jika hasilnya dapat digunakan untuk memodifikasi sistem antrian. Modifikasi dapat dilakukan berdasarkan dari beberapa *quantity* berikut:

$$L = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} = \text{Rata-rata banyaknya pesawat berada dalam sistem}$$

$$L_e = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)} = \text{Rata-rata banyaknya pesawat dalam antrian}$$

$$L_w = \frac{\mu}{\mu - \lambda} = \text{Rata-rata banyaknya pesawat dalam antrian yang tak kosong}$$

$$W = \frac{1}{\mu - \lambda} = \text{Rata-rata waktu yang diperlukan pesawat berada dalam sistem}$$

$$W_e = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)} = \text{Rata-rata waktu yang diperlukan pesawat berada dalam antrian}$$

$$P(n > k) = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^{k+1} = \text{Peluang terdapat lebih dari } k \text{ pesawat berada di dalam sistem}$$

$$P(T > t) = e^{-\mu(1-\lambda/\mu)t} = \text{Peluang waktu seorang pesawat berada dalam sistem sedikitnya } t \text{ satuan waktu}$$

Dari informasi tersebut diperoleh hubungan bahwa,

$$L = \lambda W, L_q = \lambda W_q, W = W_q + \frac{1}{\mu}$$

dan

$$L = L_q + \frac{\lambda}{\mu}$$

Dengan pengecualian untuk model antrian terbatas dan sumber terbatas, hubungan ini berlaku untuk semua model.

PEMBAHASAN

Laju kedatangan pesawat

Jumlah pesawat yang masuk didalam antrian dihitung setiap satu jam. Dari hasil survai dapat dilihat laju kedatangan pesawat (λ) pada *runway* Bandar udara Internasional Soekarno Hatta adalah 52 pesawat per jam, atau rata-rata 1 pesawat permenit. Bandar udara Soekarno Hatta memiliki 2 buah *runway* aktif, oleh sebab itu, dapat diasumsikan bahwa setiap 2 menit datang satu pesawat dalam antrian, atau $\lambda = 0,5$ permenit.

Waktu yang diperlukan oleh pesawat untuk mendapatkan pelayanan

Masing-masing pesawat mendapatkan rata-rata 4 menit pelayanan untuk *take off* dan *landing* apabila $\lambda = 0,5$ permenit. Apabila diasumsikan $\lambda = 1$, maka rata-rata pelayanan adalah 2 menit/pesawat.

1. Rata-rata banyaknya pesawat menunggu dalam antrian

Sebelum menghitung rata-rata banyaknya pesawat menunggu dalam antrian, maka perlu diketahui peluang satu pesawat dapat terlayani tanpa harus menunggu dimana, $\lambda = 1$ dan $\mu = 2$.

$$P_0 = \frac{1}{1 + \frac{\lambda}{\mu} + \frac{1}{2} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^2 + \frac{1}{6} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^3 + \frac{1}{\left(1 - \frac{\lambda}{3\mu} \right)}}$$
$$P_0 = \frac{1}{1 + (1/2) + \frac{1}{2}(1/2)^2 + 1/6(1/2)(1/(1-1/2))}$$
$$= \frac{1}{1 + 0.5 + 0.125 + 0.083(2)}$$
$$= \frac{1}{3.285} = 0.304$$

Dengan diketahuinya peluang pesawat dapat terlayani tanpa harus menunggu sebesar 0.304 maka rata-rata banyaknya pesawat yang menunggu didalam antrian adalah:

$$L = \frac{\lambda}{\mu - \lambda}$$
$$L = 1/(2-1)$$
$$L = 1$$
$$L = 1 - (1 - 0.304)$$
$$= 0.304$$

2. Nilai laju efektif dari banyaknya pesawat yang menunggu didalam antrian adalah:

$$\lambda_{\text{eff}} = 2(1 - 0.304)$$
$$= 1.392 \text{ per menit}$$
$$= 2 \text{ pesawat per menit.}$$

Dari hasil perhitungan tersebut diatas, maka dapat diketahui bahwa setiap menitnya terdapat 2 (dua) pesawat menunggu.

3. Jumlah antrian

Seperti telah dijelaskan tersebut diatas, bahwa setiap pesawat mendapatkan pelayanan selama 4 menit untuk *take off* maupun *landing*, dan setiap 1 menit terdapat 2 antrian pesawat, maka terlihat bahwa setiap pesawat selesai mendapatkan pelayanan *take off* maupun *landing* telah terdapat 8 pesawat menunggu pada *taxiway*

Terkait dengan hal tersebut diatas, maka dapat diketahui bahwa pesawat ke empat dalam antrian harus menunggu selama 16 menit untuk mendapatkan pelayanan *take off/landing*.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengolahan data dan analisis, didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Peluang pesawat dapat terlayani tanpa harus menunggu sebesar 0.304, sehingga dapat diketahui bahwa setiap menitnya terdapat 2 (dua) pesawat menunggu.
2. Dengan nilai laju efektif 1 pesawat permenit, dan dengan pelayanan per pesawat 4 menit, maka setiap 1 pesawat terlayani, masih terdapat 4 pesawat menunggu dalam antrian. Sehingga, untuk pesawat ke 4 harus menunggu

selama 16 menit untuk dapat *take off* dan *landing*.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifin Nugroho, 2009, *Teori Antrian Markovian: Pendekatan Praktis*, Penerbit; Univ. Trisakti
- Bandar Udara Online (<http://bandaraonline.com/airport/pengertian-lepas-landas-take-off>), 2012
- Wikipedia, 2012: *A people mover or automated people mover (APM)*
- Bonhel, , 2010, *Teori antrian*

