



## Pengaruh Steep Approach Terhadap Operasional Runway

### *Effect Of Steep Approach On Runway Operation*

Faisal Esa Arighi<sup>1)</sup>, Ervina Ahyudanari<sup>2)</sup>

Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia

Email: faisalesa21@gmail.com, ervina@ce.its.ac.id

#### INFO ARTIKEL

##### Histori Artikel:

Diterima: 6 Maret 2019

Direvisi: 29 April 2019

Disetujui: 17 Juni 2019

Dipublikasi Online: 28 Juni 2019

##### Keywords:

Runway Capacity, Peak Hour, Steep Approach, Juanda Airport, ILS

##### Kata kunci:

Kapasitas Runway, Peak Hour, Steep Approach, Bandara Juanda, ILS

##### Permalink/DOI:

<https://dx.doi.org/10.25104/wa.v45i1.341.1-12>

©2019 Puslitbang Transportasi Udara, Badan Litbang Perhubungan-Kementerian Perhubungan RI. This is an open access article under the CC BY-NC-SA license

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

#### ABSTRACT / ABSTRAK

*The need for air transport is increasing annually. This increase will certainly have an impact on environment in airport vicinity. One of the effect that easily noticeable is noise from aircraft operations. This study will compare runway capacity with standard approach (3<sup>o</sup>) and with steep approach (4.5<sup>o</sup>). Using existing peak hour traffic, initial runway capacity will be known using time-space diagram and therefore this capacity will be the ultimate capacity of the runway. Then, using the same peak hour traffic, steep approach runway capacity will be known with the same analysis method. Both capacity will be compared to see the decrease in capacity. From analysis, steep approach shows no reduction in capacity with 34 movements per hour. Aircraft type that satisfy approach speed target on steep approach is Airbus A320. Summary from this study are that steep approach not decrease the runway capacity at peak hour. At peak hour, aircraft composition leans on homogenous state when looking at wake turbulence category. ILS will available for standard approach and steep approach will be using either Microwave Landing System or GBAS (Ground Based Augmentation System) Landing System. Steep approach provides decrease in level 2 noise from 1400 m to 1282 m and in housing area within airport vicinity by 60,5%.*

Kebutuhan transportasi udara terus meningkat dari tahun ke tahun. Peningkatan kebutuhan ini juga berdampak pada lingkungan sekitar bandar udara dan salah satunya adalah dampak kebisingan dari operasional pesawat. Dalam penelitian ini, akan dibandingkan kapasitas runway dengan sudut approach standar (3<sup>o</sup>) dengan steep approach (4,5<sup>o</sup>). Dengan data lalu lintas dari peak hour eksisting, akan diketahui kapasitas runway awal menggunakan diagram ruang-waktu yang menghasilkan kapasitas ultimate dari runway tersebut dan dapat diketahui pula kapasitas runway steep approach. Dengan kapasitas runway ultimate dan kapasitas runway steep approach, akan diketahui perbedaan kapasitas dari kedua metode approach dan diketahui pengurangan kapasitas dari steep approach. Hasil analisa menggunakan diagram ruang waktu menunjukkan bahwa tidak terjadi pengurangan kapasitas dengan 34 pergerakan per jam. Jenis pesawat yang memenuhi target kecepatan 137±4kt adalah Airbus A320. Kesimpulan dari penelitian ini adalah steep approach tidak mengurangi kapasitas runway pada peak hour. Pada peak hour, pesawat cenderung homogen dalam tipe wake turbulence yang dihasilkan. Penggunaan ILS akan diperuntukkan bagi standard approach dan steep approach dapat menggunakan *Microwave Landing System* atau GBAS (*Ground Based Augmentation System*) Landing System. Terjadi pengurangan kebisingan tingkat 2 dari 1400 m menjadi 1282 m dan pada area perumahan sekitar bandara sebesar 60,5%.

## PENDAHULUAN

Di abad ke-21 ini, kebutuhan akan transportasi udara semakin meningkat. Di tahun 2017, terjadi peningkatan jumlah penumpang sebesar 8,1% dari tahun 2016. Jumlah ini lebih besar dibandingkan tahun sebelumnya yaitu sebesar 7,4% . Selain peningkatan jumlah penumpang, peningkatan permintaan kargo udara juga meningkat 9,7% di tahun 2017 (IATA, 2018). Untuk melayani pertumbuhan penumpang, beberapa negara telah membuat atau mengaktifkan kembali bandar udara di tengah kota untuk meringankan beban dari bandar udara utama yang biasanya terletak di luar kota. Meskipun begitu, kapasitas bandara di tengah kota lama-kelamaan akan terpenuhi. Dengan pertumbuhan tersebut, maka dapat diperkirakan bahwa bandara akan melayani lebih banyak penerbangan per hari. Kenaikan jumlah penerbangan ini tentu mempengaruhi lingkungan di sekitar bandara. Kualitas udara dan kebisingan merupakan salah satu tantangan lingkungan dalam pengoperasian bandar udara.

Kebisingan merupakan salah satu tantangan dalam pengoperasian bandar udara. Masyarakat yang secara historis memiliki kediaman di sekitar bandar udara atau pendatang yang baru menempati tempat tersebut adalah golongan yang terpapar langsung dengan kebisingan ini. Masyarakat yang bertempat tinggal di kawasan *approach* dari bandar udara dapat terpapar kebisingan hingga 91,6 EPNdB pada 2 km dari landas pacu atau termasuk Kawasan kebisingan tingkat III pada PP No. 40 Tahun 2012 (Antoine dan Kroo, 2004). Kawasan kebisingan tingkat III dapat digunakan sebagai jalur hijau dan lahan pertanian yang tidak mengundang burung, bukan sebagai kawasan tinggal.

Untuk menanggulangi masalah kebisingan, ICAO menetapkan 3 tahapan. Tahap pertama yaitu asesmen kebisingan yang terjadi. Tahap berikutnya yaitu pengelolaan 4 elemen utama dalam menanggulangi kebisingan. Empat elemen utama tersebut yaitu pengurangan suara dari

sumbernya, perencanaan dan pengelolaan penggunaan lahan, prosedur operasional dalam penanggulangan kebisingan, dan pembatasan operasional pesawat (ICAO, 2008). Kemudian, tahap terakhir adalah analisis serta pemilihan solusi. Salah satu metode penanggulangan kebisingan dengan prosedur operasional yaitu dengan menggunakan metode *steep approach*. Metode *steep approach* menggunakan sudut yang lebih tinggi pada saat *approach* sehingga menghasilkan jalur yang lebih tinggi dari *approach* pada umumnya dan mengurangi paparan kebisingan terhadap masyarakat yang berada di sekitar bandar udara (Antoine dan Kroo, 2004). *Steep approach* sudah diterapkan di bandara lain seperti London City Airport dengan sudut  $5,5^{\circ}$  (NATS, 2018). Bentuk penanggulangan kebisingan lain adalah dengan menggunakan pembatasan operasional pesawat. Penanggulangan ini menurut ICAO bukan merupakan pilihan pertama untuk mengatasi kebisingan, namun setelah mempertimbangkan 3 elemen sebelumnya. Salah satu bentuk pembatasan operasional pesawat adalah penggunaan *Quota Count* (QC). *Quota count* menggunakan batas jumlah penerbangan yang dapat dilayani di malam hari. Dalam QC, setiap tipe pesawat diberikan *Quota Count* berdasarkan performa kebisingan yang berbeda antara kedatangan dan keberangkatan berdasarkan sertifikasi dari pengetesan ICAO (Heathrow Airport Limited, 2016). Salah satu bentuk penggunaan *quota count* yaitu pada bandara Heathrow.

Tujuan penelitian ini adalah Mengetahui pengaruh *steep approach* terhadap kecepatan *approach* pesawat yang sekarang beroperasi. Mengetahui kapasitas *runway ultimate* berdasarkan lalu lintas udara terkini, mengetahui kapasitas *runway* dengan *steep approach*, mengetahui pengaruh *steep approach* terhadap peralatan navigasi lain dan mengetahui pengaruh *steep approach* terhadap kebisingan pada area sekitar bandara.

## TINJAUAN PUSTAKA

### Kebisingan di Bandara

Dampak dari penggunaan metode steep approach ini telah diteliti oleh Antoine dan Kroo di tahun 2004. Menurut penelitian Antoine dan Kroo, pada approach sumber kebisingan dominan yaitu dari bilah kipas mesin dan aerodinamik pesawat. Menggunakan data dari *The Aircraft Noise Prediction Program* (ANOPP) yang dikembangkan oleh NASA Langley Research Center dan program permodelan NASA John H. Glenn Research Center at Lewis Field Engine Performance Program (NEPP), dapat diketahui perbedaan kebisingan dari beberapa sudut approach. Pengukuran dalam permodelan diukur dari jarak 2 km dari runway threshold sesuai dengan metode pengukuran kebisingan ICAO. Hasil penelitian dari Antoine dan Kroo menyebutkan bahwa penggunaan steep approach dari 3° menjadi 4,5° dapat mengurangi kebisingan sebesar 7,7 EPNdB diikuti dengan pengurangan Throttle dari mesin. Hal ini dijelaskan pada tabel 1.

**Tabel 1.** Perbandingan kebisingan berdasarkan sudut approach

Angle, deg	Throttle, %	Noise, EPNdB
3,0	25,9	91,6
3,5	22,2	89,1
4,0	18,4	86,5
4,5	14,7	83,9

Sumber: Antoine dan Kroo, 2004

Helmut dkk. pada artikel ilmiah mereka yang diterbitkan tahun 2013 meneliti mengenai dampak steep approach terhadap kebisingan. Pesawat yang digunakan adalah Boeing 737-700 dan sudut approach yang digunakan dalam penelitian oleh Helmut dkk. menggunakan sudut 3°, 3,2°, 4°, 4,5°, 5° dan 5,5°. Hasil penelitian tersebut adalah terjadi pengurangan kebisingan pada sudut approach lebih besar dari 3°. Pada slightly steeper approach 3,2° terjadi pengurangan kebisingan 0,4 dB (A) yang dikatakan sedikit lebih sunyi dari 3°. Pada sudut pendaratan steep approach, pengurangan kebisingan yang didapatkan lebih besar. Pada 4,5° terjadi pengurangan kebisingan sebesar 2,1 dB (A) dan pada 5° pengurangan kebisingan yang

diperoleh sebesar 3,6 dB (A). Pengurangan kebisingan terbesar ditemui pada sudut 5,5° dengan pengurangan 4,6 dB (A), Pengurangan kebisingan ini dapat dengan jelas dirasakan.

### Kemampuan Pesawat dalam Steep Approach

Pada penelitian Mollwitz dan Korn pada tahun 2014 dengan judul "*Steep Segmented Approaches for Active Noise Abatement- A Flyability Study*", meneliti mengenai penggunaan steep approach untuk pesawat-pesawat yang digunakan oleh maskapai Jerman. Menggunakan full flight training simulator milik TUIfly, Condor, dan Lufthansa, diteliti penggunaan segmented approach dengan sudut approach 4,5° dari ketinggian 8000ft hingga ketinggian 1500ft dan beralih ke 3° untuk pendaratan. Prosedur pendaratan kemudian dimasukkan dalam Flight Management System (FMS) untuk dapat melakukan pendaratan menggunakan flight directors maupun dikendalikan oleh autopilot. Simulator pesawat yang digunakan adalah Boeing 737NG, 767, 747-8, Airbus A320, A330-300, A340-600, dan A380. Kondisi yang digunakan adalah kondisi ISA dengan suhu +15°C dan juga kondisi ISA+25, Maximum Landing Weight (MLW) hingga tailwind 25kt.

Hasil yang didapatkan adalah A320 dapat mengikuti glideslope dengan sudut 4,5° dengan posisi flaps 3, posisi roda pendarat naik, menggunakan spoiler dan pada kecepatan 170kt. Untuk pendaratan pada kondisi tailwind dan ISA+25, diperlukan menurunkan roda pendarat. Pada pesawat A330-300, pesawat dapat mengikuti glideslope 4,5° dengan posisi flaps 3, posisi roda pendarat naik, menggunakan spoiler pada kecepatan 170kt dan dapat mengikuti sudut glideslope 4,5° bahkan dengan kondisi tailwind dan ISA+25. Untuk pesawat A340-600, pesawat dapat mengikuti glideslope 4,5° dengan kondisi flaps pada posisi 3, posisi roda pendarat naik, dan menggunakan spoiler dengan kecepatan 170kt. Pesawat tetap dapat mengikuti glideslope 4,5° dengan kondisi ISA+25 dan tailwind. Pesawat A380 dapat mengikuti glideslope dengan sudut 4,5° dengan kondisi tanpa spoiler, posisi roda

pendarat naik, posisi flap 3 dengan kecepatan 170kt. Dalam kondisi ISA+25 dan *tailwind*, diperlukan untuk menurunkan roda pendarat. Pada Boeing 737NG, digunakan flaps posisi 15 dan roda pendarat turun supaya dapat mengikuti *glideslope* 4,5°. Pada kondisi ISA+25 dan *tailwind*, dapat menggunakan full flaps dan roda pendarat turun. Pesawat 747-8 dapat mengikuti *glideslope* 4,5° dengan kecepatan 170kt menggunakan flaps posisi 20 dan roda pendarat naik. Untuk mengikuti *glideslope* 4,5° pada suhu 40° dan *tailwind*, diperlukan untuk menurunkan roda pendarat. Pada pesawat Boeing 767, pesawat dapat melakukan pendaratan dengan kecepatan 170kt menggunakan konfigurasi flap 20, roda pendarat naik, dan menggunakan *spoiler*. Pada kondisi ISA+25 dan *tailwind*, Boeing 767 tetap dapat menggunakan konfigurasi pendaratan yang sama.

**Tabel 2.** Konfigurasi *Glideslope* 4,5° Pada ISA Tanpa Angin

Tipe	Roda Pendarat	Flap	Spoiler	Sudut Maks.
A320	Naik	3	Ya	-
A330	Naik	3	Ya	7,5°
A340	Naik	3	Ya	5°
A380	Naik	3	Ya	5°
B737	Turun	15	Tidak	4,6°
B747	Naik	20	Tidak	5°
B767	Naik	20	Ya	6°

Sumber: Mollwitz dan Korn, 2014

### Kemampuan Pilot Melakukan *Steep Approach*

Dalam penelitian Boehm-Davis dkk. pada tahun 2007 dalam "*Pilot Performance, Strategy, and Workload While Executing Approaches at Steep Angles and With Lower Landing Minima*", dianalisis kemampuan pilot *General Aviation* (GA) dalam menjalankan *steep approach* pada kondisi visibilitas rendah dan ruang udara tanpa kontrol. Metode dalam penelitian tersebut adalah responden yaitu 17 pilot melakukan penerbangan dalam simulator Cessna 172R dengan ketinggian awan 200 atau 400 ft pada sudut *approach* 3°, 5°, dan 7° pada eksperimen pertama lalu 6° dan 7° pada eksperimen kedua dengan ruang udara tanpa

kontrol. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa pilot cenderung melakukan *touchdown* lebih jauh dari idealnya ketika menggunakan *steep approach*. Ini menunjukkan bahwa jarak pendaratan yang dimiliki pilot lebih sedikit serta sedikitnya waktu untuk mengontrol pesawat. Kemudian, beban kerja pilot juga bertambah dengan adanya kesulitan pada saat pendaratan. Kemudian, pilot cenderung memasuki kondisi *approach* tak stabil dengan input flap dan tenaga dorong mesin. Dalam penelitian tersebut, sudut *approach* 5° menghasilkan pendaratan yang aman dengan deviasi minimal dari sudut *standard approach* dalam hal konfigurasi dan beban kerja yang termasuk ringan hingga sedang. Dalam penelitian tersebut juga dipaparkan bahwa sudut 6° dan 7° tidak dapat diaplikasikan dalam *approach* rutin. *Steep approach* dapat dilakukan menggunakan konfigurasi flap tertentu. Apabila konfigurasi flap tidak sesuai, maka pesawat melakukan *approach* menggunakan kecepatan yang lebih tinggi sehingga dapat menyulitkan pilot untuk menjaga kontrol pesawat terhadap sudut *approach*.

### METODOLOGI

Dalam penelitian ini, diidentifikasi beberapa masalah mengenai Pengaruh *Steep Approach* Sebagai Metode Penanggulangan Kebisingan Terhadap Kapasitas Runway:

- (1). Usaha penanggulangan kebisingan di bandara-bandara Indonesia sangat rendah.
- (2). Penggunaan metode *steep approach* merupakan salah satu metode efektif dalam penanggulangan kebisingan di area bandara.

### Pengumpulan dan Pengolahan Data

Data diperoleh dari sumber sekunder, baik dari media elektronik maupun media cetak. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data lalu lintas pesawat, kinerja pesawat, dan geometrik *airside*. Data kinerja pesawat yang digunakan adalah *Maximum Landing Weight* (MLW) dan kecepatan *approach* pesawat. Data yang diperoleh

kemudian diolah menjadi data masukan (input) untuk analisis diagram ruang-waktu berikutnya. Data yang digunakan yaitu jadwal *peak hour*, kecepatan pesawat, dan jarak *approach* yang didapatkan dari chart *Standard Arrival Routes (STAR)* Bandara Internasional Juanda.

CHARACTERISTICS	UNITS	MODEL 737-800, -800 WITH WINGLETS		
MAX DESIGN TAXI WEIGHT	POUNDS	156,000	173,000	174,900
	KILOGRAMS	70,760	78,471	79,333
MAX DESIGN TAKEOFF WEIGHT	POUNDS	155,500	172,500	174,200
	KILOGRAMS	70,534	78,245	79,016
MAX DESIGN LANDING WEIGHT	POUNDS	144,000	144,000	146,300
	KILOGRAMS	65,317	65,317	66,361

**Gambar 1.** Data *Maximum Landing Weight (MLW)* Boeing 737-800

Sumber: Boeing, 2013

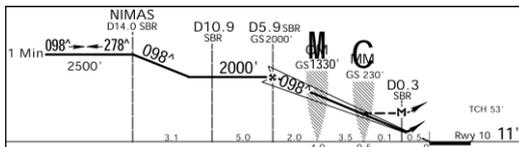
737-800/CFM56-7B26  
FAA  
Category C/N Brakes

**DO NOT USE FOR FLIGHT** Performance Inflight - QRH  
General  
737 Flight Crew Operations Manual

WEIGHT (1000 KG)	FLAPS			
	40	30	15	15
85	160	168	177	177
80	155	163	172	172
75	151	158	167	167
70	146	153	161	161
65	141	148	156	156
60	135	142	149	149
55	128	136	143	143
50	122	129	136	136
45	115	122	128	128
40	108	115	121	121

**Gambar 2.** VREF Boeing 737-800

Sumber: Boeing, 2009



**Gambar 3.** *Standard Arrival Routes (STAR)* Juanda ILS Runway 10

Sumber: Jeppesen, 2016

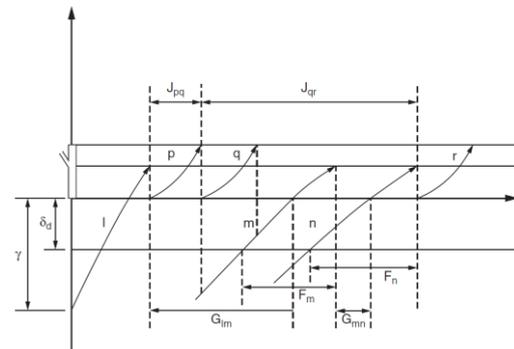
### Analisis Kapasitas Runway

Untuk mendapatkan kapasitas dari runway, digunakan metode konsep ruang-waktu dengan menggunakan diagram ruang-waktu. Diagram ruang-waktu digunakan untuk menganalisis kapasitas ultimate runway dan kapasitas runway dengan steep approach.

Metode konsep ruang waktu merupakan metode yang berfungsi untuk menggambarkan operasi pesawat terbang pada sistem runway dan kawasan udara di sekitar bandara. Pada dasarnya, terdapat aturan dalam pengoperasian runway:

- (1). Dua pesawat tidak dapat melakukan operasi di saat yang bersamaan.
- (2). Pesawat yang hendak mendarat mendapatkan prioritas dibanding pesawat yang akan berangkat (*take-off*).
- (3). Keberangkatan baru dapat dilepas jika runway sudah clear dan kedatangan selanjutnya berada setidaknya pada jarak tertentu dari runway threshold.

Gambar 4 merupakan contoh diagram ruang-waktu.



**Gambar 4.** Diagram Ruang-Waktu.

Sumber: Horonjeff, 2010

Gambar 4 menunjukkan salah satu contoh diagram ruang-waktu.  $\gamma$  merupakan titik pengamatan kedatangan,  $\delta_d$  merupakan jarak dari runway threshold dimana merupakan jarak aman untuk melepas keberangkatan. Garis l,m,n merupakan lalu lintas kedatangan, dan garis p,q,r merupakan lalu lintas keberangkatan dan  $J_{pq}$  dan  $J_{qr}$  merupakan waktu antar keberangkatan. Waktu rata-rata antar-keberangkatan diperoleh dengan merata-rata jumlah  $G_{lm}$  dan  $G_{ln}$ . Untuk mendapatkan waktu rata-rata dimana keberangkatan tidak dapat dilepas, diperoleh dengan merata-rata jumlah dari  $F_m$  dan  $F_n$ . Dengan pengamatan lain, keberangkatan p dapat dilepas ketika kedatangan l belum mencapai titik  $\delta_d$  dan keberangkatan q dapat dilepas ketika kedatangan p telah keluar dari runway dan kedatangan m belum mencapai titik  $\delta_d$ . Namun, keberangkatan r tidak dapat dilepas karena kedatangan n telah melewati titik  $\delta_d$  namun belum dapat dilepas sampai kedatangan n keluar dari runway. Aturan separasi lalu lintas udara yang mengakomodir

sejumlah kedatangan dan keberangkatan dapat dipahami dengan baik melalui contoh soal yang menggambarkan konsep ruang-waktu untuk memproses operasi pada runway.

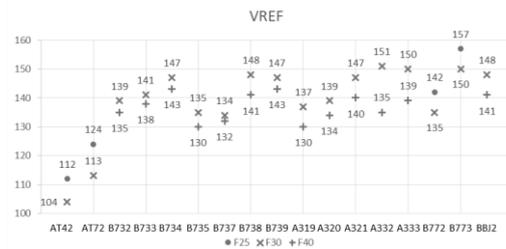
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Analisis Komponen Approach

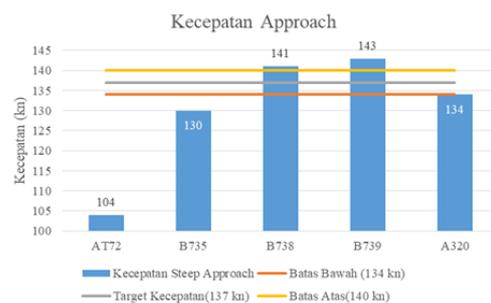
Dalam analisis menggunakan diagram ruang waktu, dibutuhkan beberapa komponen yaitu kecepatan approach dan durasi runway occupancy. Dalam penelitian ini, digunakan runway 10 Juanda sebagai objek penelitian dikarenakan ketersediaan ILS.

Kecepatan approach didapatkan dari data QRH pesawat yang beroperasi di Bandar Udara Internasional Juanda. Untuk mendapatkan data kecepatan pesawat saat approach dari QRH, dibutuhkan data *Maximum Landing Weight* (MLW) dan penentuan kebutuhan flap. Konfigurasi flap yang digunakan adalah konfigurasi ke-2 tertinggi untuk *standard approach* dengan pertimbangan mendapatkan gaya angkat yang cukup tanpa menimbulkan gaya tahanan yang besar. Konfigurasi tertinggi digunakan untuk *steep approach*. Penggunaan flap lebih tinggi dapat memberikan gaya angkat yang lebih tinggi dengan gaya tahanan yang besar sehingga pesawat dapat mengikuti jalur approach dengan lebih mudah. Data yang didapatkan dari QRH berupa VREF, dimana tiap manufaktur pesawat memiliki perhitungan yang berbeda. Gambar 5 merupakan ilustrasi kecepatan *approach* pesawat yang beroperasi di Bandara Juanda berdasarkan setting flap dan pada gambar 6 merupakan kecepatan *steep approach* pada saat *peak hour*.

Dalam analisis diagram ruang-waktu, dibutuhkan pula waktu *runway occupancy* atau penggunaan runway. Penentuan kecepatan saat keluar dari runway ( $V_e$ ) dapat ditentukan dari jari-jari rapid exit taxiway dimana rapid exit taxiway Bandar Udara Internasional Juanda memiliki jari-jari sebesar 488 m.



Gambar 5. Kecepatan *approach* pesawat yang beroperasi di Bandara Juanda berdasarkan konfigurasi flap.

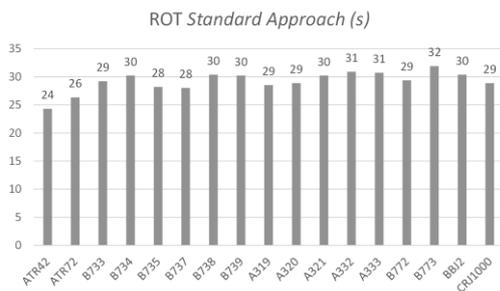


Gambar 6. Kecepatan *steep approach* pesawat pada *peak hour* Bandara Juanda

Dengan jari-jari 488 m, maka menurut ICAO kecepatan saat keluar runway adalah  $49,4kt \approx 50kt$  (ICAO, 2005). Berikut merupakan rumus *runway occupancy time*:

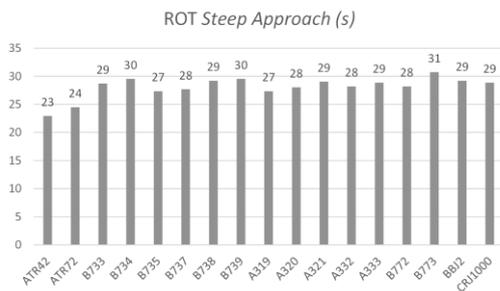
$$R_i = \frac{V_{ot} - V_{td}}{2a_1} + 3 + \frac{V_{td} - V_e}{2a_2} + t \quad (1)$$

$R_i$  merupakan *runway occupancy time* dalam satuan detik.  $V_{ot}$  merupakan kecepatan pesawat saat melewati *runway threshold* dalam satuan knot.  $V_{td}$  merupakan kecepatan pesawat saat menyentuh landasan dalam satuan knot.  $V_e$  merupakan kecepatan pesawat saat keluar landasan dalam satuan knot.  $a_1$  merupakan rata-rata deselerasi di udara dengan besaran  $2,5 \text{ ft/s}^2$ .  $a_2$  merupakan rata-rata deselerasi di darat dengan besaran  $5 \text{ ft/s}^2$ . 3 detik merupakan waktu deviasi ROT, dan  $t$  merupakan waktu berbelok keluar runway dalam penelitian ini digunakan waktu 10 detik (Horonjeff, 2010). Gambar 7 merupakan *runway occupancy time* untuk *standard approach*:



**Gambar 7.** Runway occupancy time standard approach untuk pesawat yang beroperasi di Bandara Juanda.

Gambar 8 merupakan runway occupancy time pada saat penggunaan steep approach.



**Gambar 8.** Runway occupancy time steep approach untuk pesawat yang beroperasi di Bandara Juanda.

### Analisis Diagram Ruang-Waktu

Setelah komponen dalam analisis sudah ditentukan dan dihitung, dilanjutkan dengan analisis diagram ruang-waktu menggunakan data yang dimiliki. Analisis meliputi waktu pada titik kedatangan, titik pelepasan keberangkatan, dan jarak tertentu dari kedatangan pesawat lain. Data didapatkan dari *standard arrival chart* (STAR Chart) Bandar Udara Internasional Juanda, dan separasi pesawat. Analisis dilakukan per jarak titik pantau dan didapatkan waktu pesawat tersebut dapat sampai pada titik tersebut.

Pada contoh ini, diketahui bahwa pesawat yang mengikuti kedatangan memiliki kecepatan lebih tinggi:

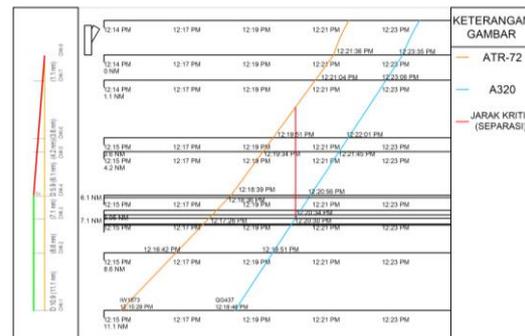
**Tabel 3.** Contoh analisis kedatangan-kedatangan

Jam	No. PNB	Tipe	Operasi	Urutan
12:15 PM	IW1873	AT76	Arrival	12
12:15 PM	QG437	320	Arrival	13

**Tabel 4.** Kecepatan pesawat analisis kedatangan-kedatangan

	NM/Min
	STD
ATR72	2.066667
A320	2.316667

Maka perlu diketahui pula jarak antar pesawat pada titik-titik pengamatan agar masih memenuhi separasi minimal. Berikut adalah contoh perhitungan separasi antar pesawat.



**Gambar 9.** Diagram separasi analisis kedatangan-kedatangan.

Metode untuk mengecek separasi adalah dengan mengurangi waktu pesawat mengikuti dengan pesawat didepannya pada titik pantau yang sama. Setelah itu, dapat dikalikan dengan kecepatan pesawat yang mengikuti. Analisis harus mencakup seluruh titik pantau agar diketahui titik kritisnya. Dalam contoh diatas, digunakan analisis pada titik pantau 7.1 NM dari runway threshold sebagai contoh perhitungan seperti berikut:

Waktu IW1873 melewati titik 7.1 = 12:17:26 PM

Waktu QG437 melewati titik 7.1 = 12:20:30 PM

$$\Delta t = 12:20:30 - 12:17:26 = 1,9 \text{ Menit}$$

Kecepatan pesawat yang mengikuti = 139 kn=2,316 NM/Min

$$D = 1,9 \times 2,316 = 4,401 \text{ NM (OK)}$$

Jika pada analisis masih ditemukan pesawat yang tidak memenuhi separasi minimal, dapat mengubah waktu titik kedatangan (11.1 NM) dengan menambah waktu tersebut. Jika pesawat yang mengikuti memiliki kecepatan yang sama, dapat digunakan waktu pada titik kedatangan sama

dengan jarak titik kedatangan (11.1 NM) dikurangi dengan kebutuhan separasi minimal.

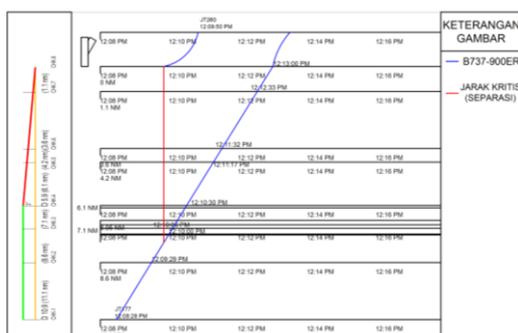
Dalam contoh berikutnya, digunakan contoh keberangkatan diikuti dengan kedatangan.

**Tabel 5.** Contoh analisis keberangkatan-kedatangan

Jam	No. PNB	Tipe	Operasi	Urutan
12:00 PM	SJ334	738	Depart	5
12:05 PM	JT260	739	Depart	6
12:10 PM	JT177	739	Arrival	7

**Tabel 6.** Release distance Boeing 737-900ER

Aircraft Type	Approach Speed	Release Distance
	(NM/Min)	(NM)
	STD	STD
B739	2.45	7.35



**Gambar 10.** Diagram separasi analisis keberangkatan-kedatangan.

Dalam analisis ini, bagian yang perlu dicek adalah waktu pelepasan keberangkatan JT260 terhadap *release distance* JT177. Dalam contoh ini, *release distance* untuk *standard approach* Boeing 737-900ER adalah 7,35 NM dan waktu ketika JT177 Melewati titik pantau 7,35 NM adalah pukul 12:10:00 PM, sesuai dengan waktu pelepasan keberangkatan JT260. Jika waktu pada *release distance* lebih dahulu dibanding waktu pelepasan keberangkatan, maka waktu titik kedatangan harus ditambahkan.

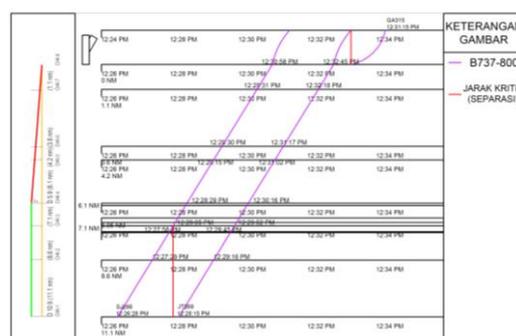
Pada contoh berikutnya, adalah contoh pelepasan keberangkatan setelah kedatangan.

**Tabel 7.** Contoh analisis kedatangan-keberangkatan

Jam	No. PNB	Tipe	Operasi	Urutan
12:25 PM	SJ266	B738	Arrival	17
12:30 PM	JT269	B738	Arrival	18
12:30 PM	GA315	B738	Depart	19

**Tabel 8.** Release distance Boeing 737-800

Ri (s)
STD
B738 30.3864



**Gambar 11.** Diagram separasi analisis kedatangan-keberangkatan.

Pada analisis ini, GA315 dapat dilepas keberangkatannya pada pukul 12:29:45 PM saat JT269 berada pada *release distance* (7,4 NM) dari landasan. Namun disaat yang sama, SJ266 masih dalam kondisi *approach* dengan jarak kurang dari 3,6 NM dari *runway threshold* maka keberangkatan GA315 baru dapat dilepas setelah JT269 mendarat dan keluar dari landasan.

Dari hasil analisis *standard approach* menggunakan metode diagram ruang-waktu, didapatkan kapasitas landasan dengan jumlah 34 pergerakan per jam. Hasil analisis *steep approach* menggunakan metode diagram ruang-waktu, didapatkan kapasitas landasan dengan jumlah 34 pergerakan per jam.

### Analisis Instrumen Pendaratan

Instrumen pendaratan diperlukan dalam *steep approach* untuk memperingan beban kerja pilot mengingat batasan toleransi akurasi pada *glide path* sebesar 50ft. Namun, tidak semua pesawat dapat melakukan *steep approach* dalam kondisi MLW. Untuk menanggulangi hal tersebut, pesawat yang tidak dapat menggunakan *steep approach*

dapat tetap mendarat menggunakan ILS dengan *standard approach* tanpa modifikasi kondisi eksisting ( $3^0$ ). Penggunaan PAPI akan lebih diperuntukkan untuk *steep approach* karena frekuensi pesawat kategori medium akan lebih banyak dan kemungkinan menggunakan *steep approach* lebih tinggi sehingga PAPI membutuhkan modifikasi sudut menjadi  $4,5^0$  (FAA, 2014). Hal tersebut membuat pesawat yang melakukan *standard approach* akan bergantung kepada ketersediaan ILS.

Untuk instrumen pendaratan *steep approach*, dapat menggunakan *microwave landing system* (MLS) atau menggunakan GBAS *landing system* (GLS). MLS merupakan sistem pemandu *approach* dan pendaratan presisi yang memberikan informasi posisi dan data lain. MLS menggunakan radar *passive electronically scanned array* untuk memandu *approach* pesawat. Konfigurasi MLS terdiri dari *approach azimuth*, elevasi *approach*, bangunan pengolah sinyal, dan DME/N. Sistem MLS memiliki kelebihan yaitu jangkauan yang lebih lebar dan luas dibanding dengan ILS serta kebutuhan perlengkapan yang lebih hemat tempat dibanding dengan ILS. MLS diatur dengan elevasi  $4,5^0$  sesuai dengan sudut *steep approach* (ICAO, 2007).

GBAS (*Ground Based Augmentation System*) *landing system* (GLS) menggunakan *global navigation satellite system* (GNSS) yang dapat memberikan panduan *approach* non-presisi maupun dengan panduan vertikal. GLS menggunakan sistem *differential GPS* pada pesawat dan unit darat untuk memberikan panduan pendaratan secara presisi. Pada aplikasi GBAS, diperlukan antena penangkap sinyal GPS, 1 bangunan pengolah sinyal, dan *transmitter* VHF untuk mengoreksi posisi pesawat pada *glide slope*, *localizer* dan DME saat *approach*. Pengguna sistem GLS dapat melakukan *autoland* ketika kondisi visibilitas rendah. Untuk penggunaan GLS, beberapa pesawat memerlukan *retrofit* alat navigasi pesawat agar instrumen navigasi dapat membaca sinyal GLS. GLS akan mengirimkan sinyal *glide slope* kepada pesawat yang melakukan *approach* dan instrumen pesawat

akan menampilkan panduan *glide slope* sesuai dengan ketinggian dan lokasi pesawat berdasarkan GPS (ICAO, 2007).

Pemilihan antara kedua sistem ini dapat disesuaikan dari hasil studi *benefit-cost* terhadap pengurangan kapasitas *runway* oleh pihak pengelola bandara.

### Analisis Kebisingan

Penggunaan *steep approach* bertujuan untuk mengurangi paparan kebisingan terhadap lingkungan di sekitar bandara, terutama pada jalur *approach*. Pada penelitian sebelumnya, diketahui bahwa pada jarak  $\pm 1400$ m dari *runway threshold* pada *runway* 10 Juanda merupakan kawasan kebisingan tingkat 2 (75 hingga 80 dB WECPNL) (Hafizhurrahman, 2018).

Jarak dari batas kawasan kebisingan tingkat 2 ke tingkat 3, dengan jarak  $\pm 1100$ m. Jarak dari *runway threshold* ke batas kebisingan tingkat 2. Jarak dari *runway threshold* menuju kawasan kebisingan tingkat 3 adalah  $\pm 300$ m (Hafizhurrahman, 2018).

Pengurangan kebisingan menurut Antoine dan Kroo di tahun 2004 yaitu sebesar 7,7 EPNdB atau sekitar 8,73%. Perhitungan jarak batas kawasan kebisingan tingkat 3 dan 2 adalah sebagai berikut:

$$\text{Pengurangan Kebisingan} = (91,6 - 83,9 \text{ EPNdB}) / (91,6 \text{ EPNdB}) = 8,73\%$$

$$\text{Jarak batas kebisingan tingkat 3} = 300 \text{ m} \times (100\% - 8,73\%) = 275 \text{ m}$$

$$\text{Jarak batas kebisingan tingkat 2 dari tingkat 3} =$$

$$1100 \text{ m} \times (100\% - 8,73\%) = 1007 \text{ m}$$

Ilustrasi kebisingan setelah dan sebelum terdapat pada gambar 12 dan 13.

Kawasan kebisingan tingkat 2 terlihat pada gambar 13 mengecil dan lebih mendekat ke arah Jalan Raya Sedati yang berjarak 1150 m dari *runway threshold*. Terdapat pengurangan paparan kebisingan terhadap perumahan sebesar 60,5% dari 271 m dari Jalan Raya Sedati menjadi 107 m.



**Gambar 12.** Kawasan kebisingan juanda.



**Gambar 13.** Kawasan kebisingan juanda steep approach.

## KESIMPULAN

Pengaruh *steep approach* terhadap kecepatan approach pesawat yang sekarang beroperasi adalah sebagai berikut: Dengan menggunakan target kecepatan *steep approach* 137 kt  $\pm$  3 kt, terdapat enam pesawat yang memenuhi kriteria dalam kondisi *Maximum Landing Weight* (MLW). Boeing 737-300 (138 kt), Airbus A320 (134 kt), Airbus A321 (140 kt), Airbus A330-200 (135 kt) Airbus A330-300 (139 kt), dan Boeing 777-200 (135 kt). Pesawat terbesar dalam analisis *peak hour* adalah Boeing 737-900ER dengan kecepatan *approach* pada *steep approach* sebesar 147 kt. Pesawat terkecil pada analisis *peak hour* adalah ATR 72 dengan kecepatan *approach* pada *steep approach* sebesar 113 kt. Kapasitas *runway ultimate* berdasarkan lalu-lintas udara terkini melalui metode diagram ruang-waktu dengan *standard approach* adalah 34 pergerakan per jam. Angka ini didapatkan dari *peak hour* pengamatan mulai Senin, 12 November 2018 hingga Minggu, 18 November 2018. *Peak Hour* diketahui terjadi pada hari Minggu, 18 November 2018 pukul 12.00 hingga pukul 12.59 WIB dengan penerbangan berjumlah 39. Kapasitas *runway* berdasarkan lalu-lintas

udara terkini melalui metode diagram ruang-waktu dengan *steep approach* adalah 34 pergerakan per jam. Angka ini didapatkan dari *peak hour* pada hari Minggu, 18 November 2018 pukul 12.00 hingga pukul 12.59 WIB. Kapasitas ini sama dengan kapasitas *runway ultimate* dengan jumlah 34 pergerakan. Hal ini menunjukkan bahwa tidak terjadi pengurangan kapasitas. Hal ini disebabkan oleh perbedaan jarak tempuh *approach* yang kecil yaitu 24,65 ft dan perbedaan kecepatan *approach* 4 hingga 11 knot lebih lambat dari *standard approach*. ILS digunakan untuk *standard approach* dan PAPI digunakan untuk *steep approach*. *Microwave landing system* dan *GBAS landing system* dapat digunakan sebagai peralatan *precision approach* dan berdasarkan hasil studi *benefit-cost* dari pihak bandara. Penggunaan *steep approach* dapat mengurangi paparan kebisingan terhadap kawasan perumahan di sekitar bandara. Pengurangan paparan kebisingan tingkat 2 terhadap perumahan di area bandara sebesar 60,5%. Jarak kebisingan tingkat 2 berkurang dari 1400 m menjadi 1282 m.

## SARAN

Untuk pengaplikasian, diperlukan penelitian lebih lanjut dengan faktor manusia (pilot) sebagai salah satu penentu aplikasi *steep approach* pada bandara-bandara lain. Studi lebih lanjut mengenai struktural pesawat dan perawatan pesawat diperlukan dalam penelitian *steep approach* selanjutnya agar hasil ini dapat dipertimbangkan oleh operator penerbangan. Penggunaan teknologi mesin pesawat dengan *bypass ratio* tinggi dapat mengurangi kebisingan dan mulai diterapkan untuk pesawat generasi terkini (Airbus A320neo, Airbus A330neo, Airbus A350, Airbus A220 (Bombardier Cseries), Boeing 737 MAX, Boeing 777x, Boeing 787, Boeing 747-8, Comac C919, Embraer E2 Jet, Irkut MS-21, dan Mitsubishi MRJ). Diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai kebisingan pesawat generasi terbaru ini dan kelayakan penggunaan/pengecualian *steep approach* bagi pesawat ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Antoine, N.E. dan Kroo, I.M. (2004). *Aircraft Optimization for Minimal Environmental Impact*. Stanford: Stanford University.
- Boehm-Davis, D., Casali, J., Kleiner, B., Lancaster, J., Saleem, J., dan Wochinger, K. 2007. *Pilot Performance, Strategy, and Workload While Executing Approaches at Steep Angles and With Lower Landing Minima*. Fairfax: George Mason University.
- Boeing. (2009). *737NG Quick Reference Handbook*. Seattle: The Boeing Company.
- Boeing. (2013). *737 Airplane Characteristics for Airport Planning*. Seattle: The Boeing Company.
- Hafizhurrahman, Muhammad. (2018). *Analisis Kontur Kebisingan Pesawat di Bandar Internasional Juanda sebagai Dasar Perencanaan Perkembangan Area Sekitar Bandara*. Surabaya: ITS.
- Heathrow Airport Limited. (2016). *Night Flights Information Pack*. London: Heathrow Airport Ltd.
- Horonjeff, Robert, et al. (2010). *Planning and Design of Airports (Fifth Edition)*. New York: McGraw Hill.
- IATA. (2018). *Fact Sheet Industry Statistics June 2018*. Montreal: IATA.
- Jeppesen. (2016). *Airport Information for WARR*. Englewood: Jeppesen.
- Mollwitz, V. dan Korn, B. 2014. *Steep Segmented Approaches for Active Noise Abatement - A Flyability Study*. Braunschweig: DLR Institute of Flight Guidance.
- NATS. (2018). *United Kingdom AIP EGLC*. Southampton: UK Aeronautical Information Service.
- Toebe, H., Mollwitz, V., Bertsch, L., Geister, R., Korn, B., and Kügler, D., (2013). "Flight Testing of Noise Abating Required Navigation Performance Procedures and Steep Approaches". *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of Aerospace Engineering*. Los Angeles: SAGE Publishing.

