

Analisis Kapasitas Ruang Udara Medan East TMA Setelah Implementasi Rute PBN (RNAV1)

Airspace Capacity Analysis of Medan East TMA after PBN Route (RNAV1) Implementation

Liber Tommy Hutabarat¹⁾, Susi Diriyanti N.²⁾, Morits Sony³⁾ dan Nisa Azhari Saragih⁴⁾

¹²⁴Politeknik Penerbangan Medan, Indonesia

³Perum LPPNPI Kantor Cabang Medan, Indonesia

libertommy_htb@poltekbangmedan.ac.id¹⁾, susidiriyanti@poltekbangmedan.ac.id²⁾,

moritssony@gmail.com³⁾, nisaazhari@poltekbangmedan.ac.id⁴⁾

INFO ARTIKEL

Histori Artikel:

Diterima: 12 Januari 2021

Direvisi: 15 September 2021

Disetujui: 19 November 2021

Dipublikasi online: Desember 2021

Keywords:

Airspace Capacity, CAPAN Method, Performance-based Navigation

Kata kunci:

Kapasitas Ruang Udara, Metode CAPAN, Performance-based Navigation

Permalink/DOI:

<https://dx.doi.org/10.25104/wa.v47i2.404.119-128>

©2021 Puslitbang Transportasi Udara, Badanlitbang 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

Airspace consists of several sectors with different limitations or capacities. This is influenced by many factors which in turn will also affect the workload where it is also an indicator that focused on the Pessimistic Sector Capacity method. It adopts the Document Eurocontrol Experiment Center (EEC) Note no.21/23 which is the development of the ATC Capacity Analyzer Tool (CAPAN) regression method to calculate the capacity of a sector and analyzes the regression of the workload of ATCo compared to the number of flights in a sector. Primary data in this study were obtained through direct surveys of ATC activities, namely when providing air traffic services in an airspace sector for 1 hour during peak hours in a period of 30 days. Secondary data needed to support the analysis is related to the number of flights during peak hours, weather conditions, and flight plans. The results showed that after the implementation of PBN (RNAV1), there was an increase in the value of air space capacity in the Medan East TMA sector from 22 traffic/hour to 26 traffic/hour. Furthermore, this analysis can be used as a baseline to increase the airspace capacity to anticipate the traffic demand in the future.

Ruang udara terdiri atas beberapa sektor dengan keterbatasan atau kapasitas yang berbeda-beda. Hal tersebut dipengaruhi oleh banyak faktor yang selanjutnya juga akan mempengaruhi beban kerja yang juga merupakan indikator yang difokuskan pada metode *Pessimistic Sector Capacity*. Metode ini mengadopsi *Document Eurocontrol Experiment Center* (EEC) Note no.21/23 yang merupakan pengembangan metode regresi *ATC Capacity Analyser Tool* (CAPAN) untuk menghitung kapasitas sebuah sektor serta menganalisis regresi beban kerja petugas ATC dibandingkan dengan jumlah penerbangan pada suatu sektor. Data primer pada penelitian ini diperoleh melalui survei langsung terhadap kegiatan ATC yaitu saat memberikan pelayanan lalu lintas penerbangan pada suatu sektor ruang udara selama 1 jam pada saat *peak hours* dalam kurun waktu 30 hari. Data sekunder yang diperlukan untuk mendukung analisis yaitu terkait jumlah penerbangan saat jam puncak, kondisi cuaca, dan rencana penerbangan. Hasil penelitian menunjukkan, setelah diimplementasikannya PBN (RNAV1), terdapat peningkatan nilai

kapasitas ruang udara di sektor Medan East TMA dari 22 *traffic*/jam menjadi 26 *traffic*/jam. Selanjutnya, analisis ini dapat dijadikan *baseline* guna peningkatan kapasitas ruang udara di masa yang akan datang dalam rangkaantisipasi permintaan lalu lintas penerbangan yang terus meningkat.

PENDAHULUAN

Ruang udara terdiri atas beberapa sektor dengan keterbatasan atau kapasitas yang berbeda-beda. Hal ini menyebabkan tidak sedikit bandara tersibuk di dunia mengalami kemacetan yang serius serta masalah penundaan sehingga segera membutuhkan beberapa tindakan terkait manajemen kapasitas dan permintaan (Tian, Wan, Chen, & Yang, 2015; Zografos, Madas, & Androutsopoulos, 2017). Berkaitan dengan hal tersebut, tentunya terdapat banyak faktor yang dapat mempengaruhi optimalisasi suatu ruang udara, seperti: desain dan fleksibilitas ruang udara; kapasitas sistem ATC; jumlah sektor dan kompleksitasnya; wilayah udara terpisah; ketersediaan pelatihan, kemampuan, dan respon personel; infrastruktur CNS yang tersedia; tingkat otomatisasi; dan bahkan perlengkapan dan jenis pesawat (ICAO, 2013).

Seiring dengan meningkatnya arus lalu lintas di suatu ruang udara, maka jumlah konflik maupun beban kerja ATC juga meningkat (Tian et al., 2015). Oleh karena itu, perlu adanya perlindungan terhadap ruang udara tersebut agar terhindar dari beban kerja yang berlebih. Beban kerja yang terlalu tinggi atau terlalu rendah dianggap dapat memicu ATC melakukan kesalahan, khususnya dengan beban kerja tinggi (Számel, Mudra, & Szabó, 2015). Ketika jumlah lalu lintas penerbangan melebihi kapasitas yang tersedia, maka akan terjadi *delay* (Kürşat Çecen & Çetek, 2017). Sejalan dengan itu, Majumdar & Ochieng (2002) menyarankan wilayah udara dengan arus lalu lintas penerbangan yang tinggi, agar mengukur kapasitas yang lebih aman didasarkan pada beban kerja ATC. Lebih jauh Majumdar & Ochieng (2002) mengatakan bahwa terdapat hubungan yang erat antara beban kerja ATC dengan kapasitas ruang udara, sehingga batasan beban kerja ATC dianggap dapat menentukan kapasitas ruang udara.

Sehubungan dengan permasalahan tersebut, untuk menjamin keselamatan, kelancaran, dan keteraturan operasi penerbangan khususnya di wilayah udara Medan East TMA dengan rata-rata pergerakan pesawat udara mencapai 85-115/hari, maka perlu dilakukan suatu analisis terhadap kapasitas ruang udara. Dalam analisis ini, kapasitas sistem ATC menjadi faktor yang difokuskan dalam menganalisis kapasitas ruang udara. Selanjutnya, hal yang harus diperhitungkan sebagai indikator untuk menghitung kapasitas sektor ATC tersebut adalah beban kerja.

TINJAUAN PUSTAKA

Airspace Capacity

Andrzej & Skorupski (2017) menyatakan bahwa sektor ATC berbentuk polihedron dengan batas vertikal dan horizontal yang ditentukan dimana operasi penerbangan diawasi oleh *Air Traffic Controller* (ATCo). Kemudian kapasitas sektor ATC diartikan sebagai sejumlah pesawat yang dengan aman masuk dalam sektor ini pada waktu tertentu (Andrzej & Skorupski, 2017). Selanjutnya dalam KP 265 Tahun 2017, kapasitas ruang udara didefinisikan sebagai kemampuan kapasitas sistem manajemen lalu lintas udara yang diarahkan untuk menyediakan layanan navigasi udara dalam jumlah tertentu dengan tingkat keselamatan sesuai standar yang telah ditentukan tanpa mengorbankan kepentingan operasional, ekonomi, maupun lingkungan yang signifikan pada keadaan normal guna memberikan pelayanan navigasi penerbangan dalam suatu volume lalu lintas penerbangan yang sejalan dengan target *high level of safety*.

Kapasitas sektor bergantung pada banyak faktor, misalnya struktur dalam sektor, kondisi meteorologi, organisasi kerja (Dell'Olmo & Lulli, 2003). Untuk

memperkirakan kapasitas, di Eropa, sering digunakan metode CAPAN (ATC Capacity Analyzer Tool). Hal ini didasarkan pada kalkulasi simulasi beban kerja ATCo pada intensitas lalu lintas penerbangan tertentu. Dalam hal ini, beban kerja didefinisikan sebagai total waktu yang dikhususkan untuk semua tugas pemanduan lalu lintas penerbangan. Sebagai kapasitas praktis dari sektor ini, digunakan jumlah pesawat yang sesuai dengan ambang beban kerja yang diterima (paling sering digunakan 70% yang berarti 42 menit dalam satu jam).

Beban kerja petugas ATC dapat didefinisikan sebagai waktu yang dibutuhkan oleh seorang petugas ATC untuk melakukan seluruh tugas (*task*) pada kurun waktu tertentu yang umumnya dihitung dalam satuan menit (Andrzej & Skorupski, 2017). Dalam Tabel 1, terlihat lima kategori beban kerja yang digunakan dalam Metode CAPAN.

Tabel 1. Kategori Beban Kerja

No	Threshold	Interpretation	Recorded Working Time During 1 Hour
1	70% or above	Overload	42 minutes
2	54% - 69%	Heavy Load	32 - 41 minutes
3	30% - 53%	Medium Load	18 - 31 minutes
4	18% - 29%	Light Load	11 - 17 minutes
5	0% - 17%	Very Light Load	0 - 10 minutes

Sumber: Document Eurocontrol Experiment Center (EEC) Note no.21/23

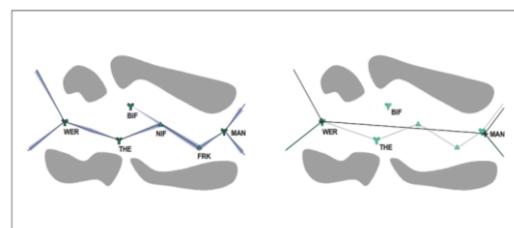
Terminal Control Area (TMA)

Terminal Control Area is a control area normally established at the confluence of ATS routes in the vicinity of one or more major aerodromes (ICAO, 2018). Wilayah ini dapat dibagi atas beberapa sektor yang berbentuk polihedron dengan batas vertikal dan horizontal yang ditentukan. Hal ini dilakukan untuk mengatasi masalah kapasitas ruang udara serta menjaga beban kerja ATC (Kusumaningsih, Dewanti, & Muthohar,

2020). Untuk ruang udara Medan, TMA terbagi atas dua sektor, yaitu Medan East dan Medan West. Untuk *Medan East TMA* memiliki *lateral limits* 010600N 0990200E, 033117N 0961845E, 054129.84N 0974938.47E, 024438.76N 1005934.80E, 010600N 0990200E dan *vertical limits* dari 10000 ft hingga FL 245.

PBN Route (RNAV1)

Menurut ICAO (2013), *performance based navigation* adalah area navigasi yang berdasarkan persyaratan kinerja untuk pesawat yang beroperasi di sepanjang sebuah Rute Pelayanan Lalu Lintas Penerbangan, prosedur pendaratan secara instrumen, atau di wilayah yang sudah ditentukan. Berbagai penelitian telah mengidentifikasi manfaat operasional yang signifikan dari penerapan prosedur ini (Kasim, 2017; Muller, Uday, & Marais, 2011; Tian et al., 2015; Timar, Hunter, & Post, 2013). Salah satu manfaat PBN dalam pelayanan lalu lintas penerbangan adalah memungkinkan penggunaan ruang udara yang lebih efisien (penempatan rute, efisiensi bahan bakar, dan pengurangan kebisingan) sehingga PBN berpotensi memberikan manfaat operasional di bidang keselamatan, efisiensi penerbangan, dan kapasitas ruang udara serta meningkatkan efisiensi biaya dan mengurangi dampak lingkungan (ICAO, 2013).



Gambar 1. Conventional Navigation (gambar kiri) dan Area Navigation (gambar kanan)
Sumber: ICAO Doc. 9613

Dalam penerapan prosedur PBN, dikenal dua istilah spesifikasi yaitu RNP dan RNAV. Spesifikasi Area Navigasi (RNAV) dengan *designation* RNAV 1 adalah jenis spesifikasi yang digunakan di ruang udara Medan. RNAV merupakan suatu metode navigasi berbasis

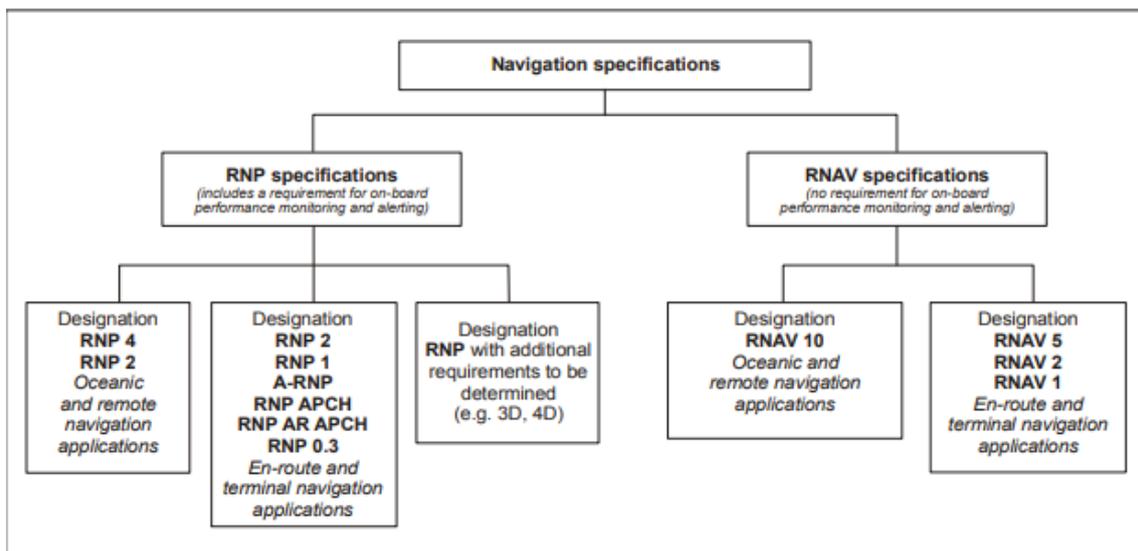
instrumen yang mengarahkan penerbangan dari *waypoint* (titik geografis di dalam wilayah udara) ke *waypoint* lain secara langsung yang memungkinkan pesawat udara beroperasi pada jalur penerbangan yang diinginkan dengan kemampuan alat bantu navigasi berbasis darat atau ruang angkasa atau dalam kemampuan alat bantu mandiri, atau kombinasi dari semuanya. RNAV “X” (X = 1/2/5/10) mengandung arti bahwa pesawat harus dapat mencapai navigasi lateral (mempertahankan posisinya terhadap lintasan) dengan akurasi 95% dari keseluruhan waktu terbang dengan simpangan maksimal sebesar “X” nautical miles (lihat Gambar 2). Secara operasional, RNAV 1/PBN sangat berkaitan dengan ASBU (*Aviation Safety Block Upgrade*) yang mana ditetapkan bahwa setiap anggota ICAO harus melaksanakan ASBU pada negara masing-masing sesuai dengan waktu yang telah ditentukan. Namun demikian, secara lebih lanjut ASBU sendiri tidak dibahas dalam penelitian ini.

pengembangan metode regresi *ATC Capacity Analyser Tool* (CAPAN) digunakan untuk menghitung kapasitas sebuah sektor serta menganalisis regresi beban kerja petugas ATC dibandingkan dengan jumlah penerbangan pada suatu sektor.

Metode Pengumpulan Data

Observasi merupakan salah satu metode dalam mengumpulkan data yang dilakukan dengan cara mengamati langsung objek yang akan diteliti. Dalam penelitian ini, observasi dilakukan langsung di ruang kerja pemanduan lalu lintas penerbangan disertai dengan melakukan pencatatan secara detail terkait seluruh kegiatan yang dilakukan oleh petugas ATC. Berikut tahapan dalam observasi yang dilakukan:

1. Observasi terhadap tugas rutin (*routine macro task*), yaitu mencakup pelayanan rutin yang diberikan oleh petugas ATC terhadap pesawat udara yang dilayani di dalam sektor pemanduannya;



Gambar 2. Spesifikasi Navigasi

Sumber: ICAO Doc. 9613

METODOLOGI

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah kuantitatif dan *Pessimistic Sector Capacity*. Data yang diperoleh akan dianalisis dengan regresi linier untuk mengetahui korelasi kedua variabel sedangkan metode *Pessimistic Sector Capacity* yang merupakan

2. Observasi terhadap monitoring perubahan ketinggian (*level change monitoring macro task*), yaitu berapa kali petugas ATC memberikan instruksi *climb* saja, *descend* saja, atau *climb* dan *descend* terhadap semua pesawat yang beroperasi dalam satu jam;

3. Observasi terhadap monitoring konflik pesawat dan pemecahannya (*conflict monitoring and resolution macro task*), yaitu berapa kali petugas ATC memberikan instruksi maupun informasi keberadaan pesawat lain (*traffic info*) yang berpotensi konflik menurut separasi yang berlaku pada sektor tersebut (konflik pada rute yang sama, konflik pada rute yang berlawanan atau konflik pada rute yang berpotongan) dalam satu jam.

Populasi dalam penelitian ini adalah personil ATC dalam Unit Kerja Medan East TMA yang berjumlah 31 orang. Teknik sampling yang digunakan adalah formula dari *Regional Project: ICAORLA/06/901*. Formula ini digunakan untuk menentukan jumlah minimum personil ATC yang akan diobservasi pada setiap unit. Berikut formula perhitungannya:

$$n = \frac{(Za/2)^2 \cdot p \cdot q \cdot N}{\varepsilon^2 \cdot (N-1) + (Za/2)^2 \cdot p \cdot q} \quad (1)$$

Keterangan:

- n : jumlah sampel, jika $n < 30$ maka digenapkan menjadi 30
 $Za/2$: nilai derajat kepercayaan (95%) dengan nilai kritis adalah 1.96
 p : porsi keterlibatan individu dalam suatu grup ($p = x/N$. jumlah sektor)
 q : porsi ketidakterlibatan individu dalam suatu grup ($q = 1-p$)
 N : jumlah populasi
 ε : error yang diijinkan (5%)
 x : jumlah *shift* dalam 1 hari.

Berikut perhitungan jumlah sampel dalam Unit Kerja Medan East TMA:

$$\begin{aligned} p &= 4/31 \times 2 = 0,258 \\ q &= 1 - 0,258 = 0,741 \\ x &= 4 \text{ (Jenis } shift; \text{ S P M L)} \\ N &= 31 \text{ (jumlah populasi TMA)} \\ n &= \frac{3,8416 \times 0,258 \times 0,741 \times 31}{0,075 + 0,734} \\ &= 28 \text{ (digenapkan menjadi 30)} \end{aligned}$$

Pengolahan Data

Merujuk pada Doc. *Eurocontrol Experimental Centre (EEC) Note No. 21/03* tentang *Pessimistic Sector Capacity*, untuk menghitung *ATC Workload*, digunakan rumus atau formula (2).

$$WL = tF1*OF1+tCnf*OCnf+tC1*OC1 \quad (2)$$

Keterangan:

- WL = Workload
 $OF1$ = Occurrence of Routine
 $OCnf$ = Occurrence of Climb/descent
 $OC1$ = Occurrence of Conflict Task during the time
 $tF1$ = Durations of Routine
 $tCnf$ = Durations of Climb/Descent,
 $tC1$ = Durations of Conflict task

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh *EuroControl*, durasi atau berapa lama ATC berbicara untuk melakukan ketiga kategori di atas telah ditetapkan dan distandarkan dalam Dokumen *EEC note no. 21/03*. Standar durasi tersebut ditetapkan dalam hitungan detik, yaitu sebagai berikut:

- Duration of routine (tF1)* = 43 detik
Duration of climb/descent monitoring (tCnf) = 15 detik
Duration of Conflict during the time (tC1) dibagi atas tiga kategori:
Crossing_conflict monitoring task = 70 detik
Along_track conflict monitoring task = 10 detik
Opposite_track conflict monitoring task = 10 detik.

Dengan asumsi bahwa petugas ATC bekerja dengan prosedur standar dan peralatan dalam keadaan normal, maka rumus menghitung *workload* petugas ATC dalam satu sektor di *Eurocontrol* adalah sebagai berikut:

$$WL = 43*nbtF1+70*nbCnfCross+10*Cnf(Tr+opp)+15*CnfMcl \quad (3)$$

Keterangan:

- WL : Workload
 $nbtF1$: Number of routine task

nbCnfCross : Number of crossing_conflict
Cnf (Tr +opp) : Number of along and opposite track
CnfMcl : Number of climb/descent

Data tersebut kemudian dimasukkan ke dalam rumus dan dilakukan perhitungan frekuensi dan durasi terhadap pergerakan pesawat terpadat dalam satu jam (*peakhours*). Setelah nilai beban kerja diketahui maka langkah selanjutnya adalah menilai kategori beban kerja tersebut berdasarkan kategori beban kerja.

Selanjutnya untuk menganalisis kapasitas sektor, dilakukan analisis regresi linier dengan menggunakan dua data yaitu total beban kerja petugas ATC dan jumlah pergerakan pesawat. Uji regresi ini dimaksudkan untuk memperoleh ada atau tidaknya pengaruh antara beban kerja dan jumlah penerbangan.

Analisis Data

Uji Hipotesis

Uji hipotesis digunakan untuk mengetahui apakah koefisien regresi tersebut signifikan atau tidak. Tahapan awal dalam melakukan uji ini adalah dengan terlebih dahulu menentukan hipotesis, yaitu:

Hipotesis nihil (H_0) : tidak ada pengaruh beban kerja (X) terhadap jumlah *traffic* (Y);

Hipotesis alternatif (H_a) : ada pengaruh beban kerja (X) terhadap jumlah *traffic* (Y).

Dalam penelitian ini, pengujian hipotesis menggunakan uji t.

1. Uji t

Uji ini digunakan guna mengetahui pengaruh variabel independen (beban kerja) terhadap variabel dependden (jumlah pesawat). Rumus untuk uji t adalah:

Tabel 2. Hasil yang diperoleh berdasarka perhitungan data

Sam pel	Workload (minutes)			Total Workload (minutes)	Jumlah Traffic	Kategori Beban Kerja
	Routine Task	Occurrence of Climb / descent	Occurence Conflict Task			
1	1663.57	273.45	0.10	32.29	20	Heavy Load
2	866.85	86.68	0.00	15.89	20	Light Load
3	1711.07	230.53	12.65	32.57	21	Heavy Load
4	895.91	142.35	1.50	17.33	21	Light Load
5	1284.76	32.92	1.20	21.98	23	Medium Load
6	754.46	233.60	8.66	16.61	23	Light Load
7	1471.60	134.40	0.60	26.78	23	Medium Load
8	395.12	78.52	18.34	6.06	24	Very Light Load
9	697.32	220.25	92.99	16.61	25	Light Load
10	1750.47	208.80	8.05	8.2	25	Very Light Load
11	2016.78	188.92	29.00	16.84	26	Light Load
12	348.02	57.20	5.95	32.79	26	Heavy Load
13	242.35	59.40	0.87	37.24	26	Heavy Load
14	2933.62	278.33	6.53	53.64	25	Over Load
15	2250.97	170.85	36.05	40.96	26	Heavy Load
16	2942.93	205.80	74.10	53.71	27	Over Load
17	307.38	123.59	3.60	6.85	27	Very Light Load
18	213.59	37.21	22.17	5.04	29	Very Light Load
19	1937.25	158.63	6.79	7.24	29	Very Light Load
20	767.50	191.10	14.17	4.55	29	Very Light Load
21	940.36	83.74	26.40	35.04	29	Heavy Load
22	1475.40	205.82	125.82	16.21	29	Light Load
23	1823.24	109.78	17.60	17.51	29	Light Load
24	1332.71	369.17	152.73	30.12	30	Medium Load
25	1133.28	410.65	44.20	32.51	30	Heavy Load
26	1761.11	273.19	25.50	30.91	30	Medium Load
27	348.02	57.20	5.95	26.47	30	Medium Load
28	242.35	59.40	0.87	34.33	30	Heavy Load

Sumber: Hasil Pengamatan

$$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}$$

Keterangan:

- t = Nilai uji t
 n = Jumlah sampel
 r = Korelasi

2. Analisis Regresi Linear Sederhana

Uji regresi adalah uji yang digunakan untuk memprediksi nilai variabel dependen berdasarkan nilai variabel independen (Sugiyono, 2011). Prediksi besaran nilai variabel dependen yang dipengaruhi oleh variabel independen adalah hasil yang diperoleh dari penerapan uji regresi (Siregar, 2013). Berikut rumus uji regresi:

$$Y = a + bX \quad (5)$$

Keterangan:

- Y = Nilai yang diprediksikan
 a = Konstanta atau bila harga $X = 0$
 b = Koefisien regresi
 X = Nilai variabel independen

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Berdasarkan perhitungan sampel, diperoleh 28 jumlah ATC yang akan disurvei selama melakukan pemanduan lalu lintas penerbangan. Kemudian dilakukan pengukuran jumlah dan frekuensi pada masing-masing kegiatan selama proses pemanduan saat jam puncak. Rekapitulasi beban kerja ATC dan jumlah pesawat yang dilayani selama jam puncak dapat dilihat pada Tabel 2 (terdapat pada lampiran).

Uji Hipotesis

1. Uji t

Dasar pengambilan keputusan dalam uji ini adalah sebagai berikut:

- jika nilai $t_{hitung} > t_{tabel}$ maka ada pengaruh antara beban kerja (X) dan jumlah *traffic* (Y);
 - jika nilai $t_{hitung} < t_{tabel}$ maka tidak ada pengaruh antara beban kerja (X) dan jumlah *traffic* (Y).
- Dari hasil perhitungan uji t dengan bantuan aplikasi statistik yang disajikan pada Tabel 3, diperoleh: (a) koefisien korelasi sederhana atau $R = 0.011$ yang menyatakan bahwa kedua

variabel tidak memiliki hubungan; (b) nilai $t_{hitung} 0,054 < t_{tabel} = 2,056$ dan nilai signifikansi (*Sig.*) $0,958 > 0,1$ sehingga dapat disimpulkan bahwa H_0 diterima dan H_a ditolak. Hal ini menunjukkan bahwa tidak ada pengaruh beban kerja (X) terhadap jumlah pesawat (Y).

Tabel 3. Hasil uji hipotesis

Model	Coefficients B	R	t	Sig.
(Constant)	26.082	.011	20.117	.000
Beban Kerja	.003		.054	.958

Sumber: Aplikasi statistik (SPSS)

2. Analisis Regresi Linear Sederhana

Selanjutnya, untuk memperoleh nilai kapasitas ruang udara pada sektor *Medan East TMA* dapat dilakukan analisis regresi linear sederhana antara beban kerja ATC (variabel X) dan jumlah pergerakan pesawat (variabel Y). Nilai *workload* maksimum (*overload*) yang digunakan adalah sebesar 70% dari 60 menit pengamatan (1 jam), yaitu 42 menit. Dengan nilai X yang telah diperoleh, maka nilai kapasitas sektor untuk sektor tersebut adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Y &= 0,003 \cdot 42 + 26,082 \\ &= 26,208 \\ &= 26 \text{ traffic/jam.} \end{aligned}$$

Berdasarkan Laporan Perhitungan *Airspace Capacity* Airnav Medan Tahun 2017, nilai kapasitas sektor *Medan East TMA* sebelum implementasi PBN (rute konvensional) adalah 22 *traffic/jam*. Namun demikian, setelah rute PBN (RNAV1) diimplementasikan, terdapat peningkatan nilai kapasitas ruang udara di sektor Medan East TMA, yaitu dari 22 *traffic/jam* menjadi 26 *traffic/jam*.

Pembahasan

Dari hasil analisis data terlihat bahwa total beban kerja adalah akumulasi dari monitoring terhadap tugas rutin, perubahan ketinggian, dan konflik pesawat serta pemecahannya. Data menunjukkan bahwa di sektor Medan

East TMA, terdapat empat kategori beban kerja ATC yaitu *very light load*, *light load*, *medium load*, *heavy load* dan *over load*. Dari 28 sampel ATC yang diamati, terdapat sampel dengan perbedaan yang cukup signifikan diantaranya sampel dengan kategori beban kerja *very light load* dengan *total workload* 4,55 menit namun dapat melayani 29 *traffic* sedangkan sampel lain dengan kategori *over load* dengan *total workload* 53,64 menit namun hanya melayani 25 *traffic*. Dalam hal ini dapat disimpulkan bahwa *total workload* tidak selalu berbanding lurus dengan kenaikan jumlah *traffic* yang dapat dilayani di ruang udara Medan East TMA. Namun demikian, hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan PBN di ruang udara Medan pada prinsipnya dapat mengurangi tingkat kompleksitas yang selanjutnya berdampak pada pengurangan tingkat beban kerja dan peningkatan nilai kapasitas ruang udara.

Adanya variasi beban kerja dalam penelitian ini adalah disebabkan oleh sampel yang heterogen dengan artian bahwa sampel belum dikategorikan berdasarkan pengalaman atau kemampuan, pelatihan, serta respons masing-masing personel ATC. Faktor-faktor tersebut tentunya dapat mempengaruhi tingkat kompleksitas ruang udara sehingga menghasilkan beban kerja yang berbeda-beda bagi setiap personel ATC.

KESIMPULAN

Perhitungan kapasitas ruang udara yang dilakukan berdasarkan beban kerja ATC dengan Metode CAPAN yang dihitung hanya mengacu pada kegiatan yang dilakukan oleh ATC selama melakukan pemanduan lalu lintas penerbangan. Berdasarkan hasil perhitungan terhadap *total workload* petugas ATC di Medan East TMA adalah berada pada kategori *Medium Load*. Dari hasil analisis *total workload* dan jumlah *traffic*, diperoleh nilai kapasitas ruang udara di Medan East TMA yaitu 26 *traffic*/jam. Nilai ini merupakan nilai maksimal dari daya tampung Medan East TMA dalam satu jam. Adapun nilai kapasitas ruang udara tersebut mengalami peningkatan

sebesar 13% dari nilai kapasitas sebelumnya yaitu saat masih digunakannya rute konvensional.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa setelah rute PBN diimplementasikan di ruang udara Medan, tingkat kompleksitas ruang udara tersebut menjadi berkurang dan dengan sendirinya mengurangi beban kerja ATC namun meningkatkan nilai kapasitas ruang udara.

Selanjutnya, analisis ini juga dapat dijadikan *baseline* untuk peningkatan kapasitas ruang udara di masa mendatang dalam rangkaantisipasi peningkatan permintaan lalu lintas penerbangan.

SARAN

Guna memaksimalkan nilai kapasitas ruang udara, peneliti selanjutnya dapat melakukan perhitungan kembali terhadap nilai kapasitas ruang udara Medan ataupun ruang udara lainnya dengan mempertimbangkan faktor-faktor lain yang berkontribusi terhadap optimalisasi ruang udara tersebut.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih kepada Perum LPPNPI khususnya General Manager Kantor Cabang Medan beserta jajarannya yang telah membantu dalam bentuk fasilitas tempat pengambilan data sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Andrzej, P., & Skorupski, J. (2017). Air Traffic Smoothness . A New Look at the Air Traffic Flow Air Traffic Smoothness . A New Look at the Air Traffic Flow Management Management. *Transportation Research Procedia*, 28, 127–132. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.12.177>
- Dell'Olmo, P., & Lulli, G. (2003). A dynamic programming approach for the airport capacity allocation problem. *IMA Journal of Management Mathematics*, 14(2003), 235–249.
- ICAO. (2013). *Performance-based Navigation (PBN) Manual* (Fourth Edi). Montréal.

- ICAO. (2018). *Annex 11 - Air Traffic Services (Fifteenth)*. Montréal.
- Kasim, K. O. (2017). Assessing the Benefits of Performance-Based Navigation Procedures. *Journal of Aviation Technology and Engineering*, 1(7), 45–49.
- Kürşat Çecen, R., & Çetek, C. (2017). En-Route Airspace Capacity and Traffic Flow Enhancement Using Genetic Algorithms. *Anadolu University Journal of Science and Technology A-Applied Sciences and Engineering*, 18(1), 39–58. <https://doi.org/10.18038/aubtda.300431>
- Kusumaningsih, A., Dewanti, D., & Muthohar, I. (2020). Airspace Capacity Analysis of Adisutjipto Airport, 9503, 127–134.
- Majumdar, A., & Ochieng, W. Y. (2002). Factors Affecting Air Traffic Controller Workload: Multivariate Analysis Based on Simulation Modeling of Controller Workload. *Journal of the Transportation Research Board*, 1788(02), 58–69.
- Muller, D., Uday, P., & Marais, K. B. (2011). Evaluation of the Potential Environmental Benefits of RNAV / RNP Arrival Procedures. In *11th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operation (ATIO) Conference* (pp. 1–18).
- Siregar, S. (2013). *Metode Penelitian Kuantitatif: Dilengkapi dengan Perhitungan Manual & SPSS (Pertama)*. Jakarta: Kencana.
- Sugiyono. (2011). *Metode Penelitian Administrasi*. Bandung: Alfabeta.
- Számel, B., Mudra, I., & Szabó, G. (2015). Applying Airspace Capacity Estimation Models to the Airspace of Hungary. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, 43(3), 120–128. <https://doi.org/10.3311/PPtr.7512>
- Tian, Y., Wan, L., Chen, C., & Yang, Y. (2015). Safety assessment method of performance-based navigation airspace planning. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 2(5), 338–345. <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2015.08.005>
- Timar, S., Hunter, G., & Post, J. (2013). Assessing the Benefits of NextGen Performance Based Navigation (PBN). In *Tenth USA/Europe Air Traffic Management Research and Development Seminar (ATM2013)*.
- Zografos, K. G., Madas, M. A., & Androutsopoulos, K. N. (2017). Increasing airport capacity utilisation through optimum slot scheduling: review of current developments and identification of future needs. *Journal of Scheduling*, 20(1), 3–24. <https://doi.org/10.1007/s10951-016-0496-7>

