



PAPER – OPEN ACCESS

Pengaruh Kelelahan Mental Terhadap Performansi Air Traffic Controllers

Author : Tahmida Fatmala Zulva, dkk.
DOI : 10.32734/ee.v5i2.1581
Electronic ISSN : 2654-704X
Print ISSN : 2654-7031

Volume 5 Issue 2 – 2022 TALENTA Conference Series: Energy & Engineering (EE)



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).
Published under licence by TALENTA Publisher, Universitas Sumatera Utara



Pengaruh Kelelahan Mental Terhadap Performansi *Air Traffic Controllers*

(*The Effect of Mental Fatigue on the Performance of Air Traffic Controllers*)

Tahmida Fatmala Zulva, Fitri Trapsilawati, Ardiyanto Ardiyanto

Departemen Teknik Mesin dan Industri, Universitas Gadjah Mada, Bulaksumur, Yogyakarta 55281, Indonesia

tahmida.f@mail.ugm.ac.id, fitri.trapsilawati@ugm.ac.id, ardiyanto@ugm.ac.id

Abstrak

Air traffic controller (ATCo) merupakan suatu profesi pengendalian lalu lintas udara yang bertugas untuk melakukan berbagai pekerjaan dalam waktu yang bersamaan atau *multitasking*. Hal tersebut dapat memicu ATCo bekerja melebihi kapasitasnya dan menyebabkan ATCo mengalami peningkatan beban kerja mental. Apabila beban kerja mental ATCo meningkat, dapat memicu ATCo mengalami kelelahan mental yang menyebabkan ATCo melakukan kesalahan-kesalahan atau *human errors*. Banyaknya *error* yang dilakukan oleh ATCo tersebut dapat menurunkan performansi hingga membahayakan keselamatan dalam penerbangan. Penelitian ini digunakan untuk mengetahui pengaruh kelelahan mental terhadap tingkat performansi ATCo. Berdasarkan hasil uji statistik yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa tingkat performansi ATCo yang ditunjukkan dengan persentase banyaknya jumlah pesawat yang berhasil dikendalikan dan banyaknya jumlah *error* yang dilakukan tidak memiliki perbedaan yang signifikan saat ATCo dalam kondisi tidak dipengaruhi oleh kelelahan mental dan saat berada dalam pengaruh kelelahan mental.

Kata kunci: *Air traffic controllers*; kelelahan mental; performansi.

Abstract

Air traffic controller (ATCo) is an air traffic control profession whose job is to do jobs at the one time or multitask. It can induce the ATCo to work beyond its capacity and cause the ATCo to experience an increase in mental workload. If the mental workload of ATCo increases, it can induce ATCo to experience mental fatigue that causes ATCo to make mistakes or human errors. The number of errors can reduce performance to endanger safety in flight. This study aimed to determine the effect of mental fatigue on the performance level of ATCo. Based on the results of statistical tests, the level of ATCo performance as indicated by the percentage of the number of aircraft successfully controlled and the number of errors hasn't a significant difference when the ATCo was not affected by mental fatigue and when it was under the influence of mental fatigue.

Keywords: *Air traffic controllers*; mental fatigue; performance

1. Pendahuluan

Air traffic control (ATC) atau pengendalian lalu lintas udara merupakan suatu sistem dinamik kompleks yang digunakan untuk membantu mengatur lalu lintas udara termasuk pesawat terbang, yaitu mulai dari lepas landas dari suatu bandara hingga sampai ke bandara tujuan [1]. *Air traffic controller* (ATCo) merupakan profesi yang bertugas untuk mengendalikan lalu lintas udara tersebut. Dalam bertugas, ATCo menerima informasi dari berbagai sumber yang mengharuskan ATCo melakukan beberapa tugas secara bersamaan. Seperti mendengarkan, melihat informasi, berpikir, berbicara hingga memecahkan masalah dalam waktu bersamaan [2], [3]. Hal tersebut dapat memicu ATCo bekerja melebihi kapasitasnya.

Apabila ATCo bekerja melebihi kapasitas yang dimiliki dengan tingginya kompleksitas tugas, maka dapat menyebabkan beban kerja mental ATCo meningkat [4]. Peningkatan beban kerja mental tersebut dapat memicu ATCo mengalami kelelahan mental yang menyebabkan ATCo melakukan kesalahan-kesalahan atau *human errors* dalam proses pengendalian lalu lintas [5]. Dalam dunia penerbangan, *human error* merupakan faktor tertinggi penyebab kecelakaan pesawat terbang yaitu mencapai 80% [6], [7]. Di mana selama tahun 2016-2020, 12% kecelakaan fatal pesawat terbang disebabkan oleh ATCo [8]. Seperti yang terjadi pada tahun 2020 di Bandara Charles de Gaulle, Paris yaitu ATCo melakukan kesalahan dalam memberikan instruksi yang mengakibatkan dua pesawat hampir bertabrakan yaitu *United Airlines Boeing 787* yang bersiap mendarat dan *EasyJet Airbus A320* yang bersiap untuk lepas landas [9]. Kecelakaan fatal lain yang melibatkan ATC terjadi pada tahun 2002 yaitu kesalahan ATCo dalam memberikan instruksi untuk melakukan pemisahan jarak antara *Bashkirian Airlines Flight 2937* dengan *DHL Flight 611*. Kesalahan tersebut diperburuk dengan ketidakjelasan pengoperasian *Traffic Collision Avoidance System* (TCAS) yang menyebabkan 69 penumpang dan 2 kru pesawat meninggal [10].

2.4. Prosedur Penelitian

Sebelum melakukan eksperimen, partisipan akan diberikan latihan pengendalian lalu lintas udara menggunakan *software* ATC *Simulator 2* selama rata-rata dua hingga tiga jam. Latihan terdiri dari pengendalian semua pesawat kedatangan (*arrival*) dan keberangkatan (*departure*) yang berada di wilayah udaranya. Responden diminta untuk memberikan izin ketinggian untuk pendaratan, menginstruksikan izin pendaratan dengan *Instrument Landing System* (ILS) maupun dengan izin secara visual untuk pendekatan dan menyerahkan pesawat kepada pengendali bagian *tower control*. Selain itu, partisipan juga memiliki tugas untuk memberikan izin dan meningkatkan ketinggian pada pesawat yang keluar sektor wilayah udaranya (*departure*) dan menyerahkan pesawat pada *center control* terdekat. Sementara itu, *pseudo-pilot* bertugas untuk memasukkan perintah *keystroke* ke *Simulator* ATC sesuai dengan arahan suara ATCo. Perintah tersebut diterjemahkan menjadi suara pilot sintesis sesuai dengan fraseologi formal pada ATCo.

Selanjutnya, terdapat dua pelaksanaan eksperimen yaitu tanpa pengaruh *mental fatigue* dan dengan pengaruh *mental fatigue*. Eksperimen skenario pertama simulasi pengendalian lalu lintas udara dilakukan tanpa diberikan pengaruh kelelahan mental yang dilaksanakan di hari yang berbeda dengan hari latihan. Sementara pada eksperimen skenario simulasi pengendalian lalu lintas udara dengan diberikan *trigger mental fatigue* dilaksanakan di hari yang berbeda pula. Di mana sebelum pelaksanaan simulasi responden akan diberikan *trigger mental fatigue* AX-CPT selama 100 menit. Durasi simulasi eksperimen untuk masing-masing skenario adalah 30 menit dengan jumlah pesawat yang digunakan untuk masing-masing skenario adalah 35 pesawat per jam [16]. Selain itu, urutan pelaksanaan skenario eksperimen dilakukan secara acara untuk masing-masing responden.

Sebelum eksperimen dilaksanakan, responden akan diminta untuk mengisi kuesioner *Rating Scale Mental Effort* (RSME) untuk mengetahui tingkat kelelahan mental secara subjektif. Pada skenario tanpa *trigger* kelelahan mental pengisian kuesioner dilakukan di awal sebelum simulasi dilaksanakan dan di akhir setelah simulasi pengendalian dilaksanakan. Sementara untuk skenario dengan *trigger* kelelahan mental, pengisian kuesioner dilaksanakan sebelum mengerjakan AX-CPT, setelah mengerjakan AX-CPT (sebelum melaksanakan simulasi) dan setelah pelaksanaan simulasi.

2.5. Analisis Statistik

Metode statistika yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode independen *t-test* atau *paired-samples t-test* dan metode *Chi-Square*. Metode *paired-samples t-test* digunakan untuk membandingkan rata-rata dua sampel yang berpasangan atau berhubungan. Uji asumsi untuk *paired-samples t-test* adalah data berdistribusi normal. Apabila data tidak berdistribusi normal, maka uji perbandingan berpasangan dilakukan dengan statistika non-parametrik yaitu menggunakan uji *Wilcoxon*. Pada pengujian pertama dilakukan untuk menguji skor RSME pada kondisi sebelum melakukan AX-CPT dengan setelah melakukan AX-CPT. Berikut adalah hipotesis yang digunakan dalam uji perbandingan berpasangan untuk kondisi sebelum dan sesudah diberikan *trigger* MF dengan AX-CPT:

H_0 : tidak terdapat perbedaan rata-rata kelelahan mental dengan *trigger* MF dan tanpa *trigger* MF

H_a : terdapat perbedaan rata-rata kelelahan mental dengan *trigger* MF dan tanpa *trigger* MF

Selain itu, uji *paired-samples t-test* juga digunakan untuk membandingkan persentase keberhasilan jumlah pesawat yang berhasil dikendalikan pada kondisi eksperimen dengan *trigger* MF dan tanpa *trigger* MF. Apabila data tidak berdistribusi normal, maka uji perbandingan berpasangan dilakukan dengan uji non-parametrik yaitu menggunakan uji *Wilcoxon*. Berikut adalah hipotesis yang digunakan untuk kondisi eksperimen dengan dan tanpa *trigger* MF:

H_0 : tidak terdapat perbedaan rata-rata performansi dengan *trigger* MF dan tanpa *trigger* MF

H_a : terdapat perbedaan rata-rata performansi dengan *trigger* MF dan tanpa *trigger* MF

Sementara uji *Chi-Square* digunakan untuk mengetahui ada tidaknya hubungan atau asosiasi pada variabel yang memiliki nilai nominal atau kategorikal yaitu pada perbedaan jenis perlakuan eksperimen yaitu dengan *trigger* MF dan tanpa *trigger* MF terhadap jumlah *error*. Berikut adalah hipotesis untuk uji ini:

H_0 : tidak terdapat perbedaan rata-rata performansi dengan *trigger* MF dan tanpa *trigger* MF

H_a : terdapat perbedaan rata-rata performansi dengan *trigger* MF dan tanpa *trigger* MF

3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil pengukuran kelelahan mental secara subjektif dengan metode RSME, didapatkan hasil seperti pada Tabel 1. Berdasarkan Tabel 1, dapat diketahui bahwa pada kondisi dengan *trigger* MF, responden mengalami peningkatan kelelahan mental setelah diberikan *trigger* MF dengan AX-CPT.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Kelelahan Mental dengan RSME

Responden	Trigger MF			Tanpa MF	
	Sebelum Trigger	Setelah Trigger	Setelah Simulasi	Sebelum Simulasi	Setelah Simulasi
1	3.33	118.33	85.00	31.67	113.33
2	0.00	76.67	75.00	0.00	33.33
3	76.67	135.00	65.00	41.67	45.00
4	121.67	126.67	138.33	30.00	111.67
5	30.00	83.33	96.67	23.33	68.33

Berdasarkan hasil uji statistik menggunakan *software Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS), pada data perbandingan nilai RSME sebelum dan sesudah diberikan *trigger* MF terdistribusi normal, sehingga uji perbandingan dilakukan dengan uji *paired t-test*. Hasilnya menunjukkan bahwa nilai *Asymp Sig. (2-tailed)* sebesar 0.026 (*Asymp Sig* < 0.05), maka keputusan yang diambil yaitu menolak H_0 dan menerima H_a . Hal tersebut berarti bahwa terdapat perbedaan antara tingkat kelelahan responden sebagai ATCo sebelum diberikan *trigger* MF dan setelah diberikan *trigger* MF.

Berdasarkan eksperimen simulasi pengendalian lalu lintas udara yang telah dilakukan, dapat diketahui nilai performansi yang didapat dari persentase keberhasilan pengendalian pesawat untuk masing-masing responden pada Tabel 2. Berdasarkan hasil uji statistik, pada perbandingan persentase keberhasilan pengendalian pesawat untuk simulasi dengan *trigger* MF dan tanpa *trigger* MF menunjukkan bahwa data tidak berdistribusi normal. Oleh karena itu, uji perbandingan dilakukan dengan uji non-parametrik menggunakan uji *Wilcoxon*. Berdasarkan hasil uji *Wilcoxon*, dapat diketahui bahwa nilai *Asymp Sig. (2-tailed)* adalah 0.276 atau lebih dari 0.05, sehingga keputusan yang dipilih adalah tidak menolak H_0 dan menerima H_a . Artinya tidak ada perbedaan rata-rata antara performansi responden sebagai ATCo yang dilihat dari persentase keberhasilan pengendalian pesawat dengan *trigger* MF dan tanpa *trigger* MF.

Tabel 2. Persentase Keberhasilan Pengendalian Pesawat

Responden	Persentase Keberhasilan Pengendalian Pesawat	
	Trigger MF	Tanpa Trigger MF
1	89%	78%
2	89%	89%
3	78%	78%
4	89%	78%
5	83%	89%

Berikut adalah Tabel 3 yang berisi banyaknya *error* yang terjadi selama eksperimen simulasi dengan *trigger* MF dan tanpa *trigger* MF oleh seluruh responden.

Tabel 3. Jumlah *Error* Selama Simulasi Pengendalian Lalu Lintas Udara

Perlakuan Eksperimen	Jenis <i>Error</i>			Total
	<i>Separation</i>	<i>Procedural</i>	<i>Other</i>	
Trigger MF	1	6	6	13
Tanpa Trigger MF	1	11	4	16
Total	2	17	10	29

Berdasarkan data jumlah *error* pada Tabel 3, dapat diketahui bahwa *error* yang paling banyak dilakukan adalah *procedural error* dengan jumlah sebanyak 17 *errors*. Berdasarkan hasil uji statistik *Chi-Square*, hasil menunjukkan bahwa χ^2 (2, N = 29) bernilai 1.577 dan nilai p sebesar 0.454 ($p > 0.05$), sehingga dapat dikatakan bahwa tidak terdapat asosiasi antara perbedaan perlakuan eksperimen dengan jumlah *error* yang dilakukan responden sebagai operator ATC.

Berdasarkan hasil tersebut, dapat diketahui bahwa saat ATCo dalam kondisi mengalami kelelahan mental tidak berpengaruh signifikan terhadap tingkat performansi ATCo. Hasil dari kedua uji performansi yang telah dilakukan mendukung penelitian yang telah dilakukan oleh Zhang *et al.* [17], yang menyatakan bahwa pada level kepadatan lalu lintas udara rendah, efek kelelahan tidak berpengaruh signifikan terhadap banyaknya kesalahan dalam melakukan pengendalian atau banyaknya *error* yang dilakukan. Sementara Muñoz-de-escalona *et al.* [16], menyatakan bahwa pengaruh kelelahan mental terhadap kompleksitas atau kepadatan lalu lintas udara yang rendah memiliki performansi yang stabil dan cenderung meningkat. Dalam hal ini seseorang mampu mempertahankan tingkat kinerjanya secara memadai setelah menyatakan bahwa dirinya mengalami kelelahan (merujuk dari Hockey [18]). Hal tersebut juga dapat dilihat dari hasil pengukuran RSME, yaitu responden sebagai ATCo mengalami peningkatan kelelahan mental, namun hal tersebut tidak memengaruhi tingkat performansi secara signifikan.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah diuraikan, dapat diketahui bahwa tingkat performansi ATCo yang ditunjukkan oleh persentase jumlah keberhasilan pengendalian lalu lintas udara, dan banyaknya kesalahan atau *error* yang dilakukan pada kondisi tanpa dipengaruhi kelelahan mental dan dipengaruhi kelelahan mental menunjukkan tidak adanya perbedaan yang signifikan. Hal tersebut dapat terjadi, karena seseorang tetap mampu mempertahankan tingkat kinerjanya secara memadai setelah menyatakan bahwa dirinya dalam kondisi kelelahan.

4.2. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, berikut adalah saran yang diberikan:

- a. Pengukuran kelelahan mental dilakukan menggunakan metode objektif untuk menghindari adanya opini yang subjektif dari responden.
- b. Pengukuran performansi dapat dilakukan dengan parameter yang berbeda, seperti *reaction time*. Hal tersebut dikarenakan parameter *reaction time* memiliki sensitifitas yang tinggi terhadap keandalan fisiologis, seperti kelelahan [19].

Ucapan Terimakasih

Tim peneliti mengucapkan terima kasih kepada seluruh responden yang terlibat. Penelitian ini didukung oleh Hibah Penelitian Departemen Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada dengan SK No. 791803/UN1/FTK.1/III/PM/2022.

Referensi

- [1] L. Wilson. (2006). "Eyes in the Sky". St. Paul: Minnesota Departement of Transportation.
- [2] W.-C. Moon, K.-E. Yoo, and Y.-C. Choi. (2011). "Air Traffic Volume and Air Traffic Control Human Errors," *J. Transp. Technol.*: vol. 01, pp. 47–53, doi: 10.4236/jtts.2011.13007.
- [3] Y. Liu, F. Trapsilawati, Z. Lan, O. Sourina. (2020). *Human Factors Evaluation of ATC Operational Procedures in Relation to Use of 3D Display*. Springer International Publishing.
- [4] M. Fallahi, R. Heidarimoghadam, M. Motamedzade, and M. Farhadian. (2016). "Psycho Physiological and Subjective Responses to Mental Workload Levels during N-Back Task," *J. Ergon.*, vol. 6, no. 181, doi: 10.4172/2165-7556.1000181.
- [5] G. A. Shirali and M. Malekzadeh. (2020). "Classification and Quantification of Human Error in the Air Traffic Control: A Case Study in an Airport Control Tower Classification and Quantification of Human Error in Air Traffic Control." Taylor & Francis.
- [6] Boeing. (Accessed Sep. 12, 2021). "MEDA Investigation Process," Boeing, 2003. https://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/articles/qtr_2_07/AERO_Q207_article3.pdf.
- [7] A. Mackieh and C. Cilingir. (1998). "Effects of performance shaping factors on human error," *Int. J. Ind. Ergon.*: vol. 22, no. 4–5, pp. 285–292, doi: 10.1016/S0169-8141(97)00079-6.
- [8] IATA. (2021). "Safety Report 2020 (Issued April 2021), Edition 57, no. April. Canada." International Air Transport Association.
- [9] NBC, "Air Traffic Controller's Slip of The Tongue Almost Caused 2020 Plane Crash in Paris," *NBC News*, 2021. <https://www.nbcnews.com/news/europe/air-traffic-controller-s-slip-tongue-almost-caused-2020-plane-n1274592>.
- [10] German Federal Bureau. (2004). "Investigation Report," Germany.
- [11] S. Loft, L. Jooste, Y. R. Li, T. Ballard, S. Huf, O. V. Lipp, T. A. W. Visser. (2018). "Using Situation Awareness and Workload to Predict Performance in Submarine Track Management: A Multilevel Approach," *Hum. Factors*: vol. 60, no. 7, pp. 978–991, doi: 10.1177/0018720818784803.
- [12] L. G. Pierce, M. K. Bleckley, and L. Crayton. (2013). "The Utility of the Air Traffic Selection and Training Test Battery in Hiring Graduates of an Air Traffic-Collegiate Training Initiative Program," Oklahoma City.
- [13] F. Trapsilawati, X. Qu, C. D. Wickens, and C. Chen. (2015). "Human Factors Assessment of Conflict Resolution Aid Reliability and Time Pressure in Future Air Traffic Control," *Ergonomics*: vol. 58:6, no. June 2015, pp. 897–908, doi: 10.1080/00140139.2014.997301.
- [14] P. Aricò, M. Reynal, J-P. Imbert, C. Hurter, G. Borghini, G. D. Flumeri, N. Sciaraffa, A. D. Florio, M. Terenzi, A. Ferreira, S. Pozzi, V. Betti, M. Marucci, E. Pavone, A. C. Telea, F. Babiloni. (2018). "Human-Machine Interaction Assessment by Neurophysiological Measures : a Study on Professional Air Traffic Controllers," pp. 4619–4622.
- [15] F. Trapsilawati, P. B. Pratiwi, Y. Vista, Z. Myesha, and M. K. Herliansyah. (2021). "Investigating traffic and controller factors in spatial multitasking: The context of air traffic conflict resolution," *Int. J. Transp. Sci. Technol.*: no. xxxx, doi: 10.1016/j.ijst.2021.07.006.
- [16] E. Muñoz-de-escalona, J. J. Cañas, and P. Noriega. (2020). "Inconsistencies between mental fatigue measures under compensatory control theories," *Psicológica*: no. March, doi: 10.2478/psicolj-2020-0006.

- [17] X. Zhang, L. Yuan, M. Zhao, and P. Bai. (2019). "Effect of fatigue and stress on air traffic control performance," *ICTIS 2019 - 5th Int. Conf. Transp. Inf. Saf.*: no. April, pp. 977–983, doi: 10.1109/ICTIS.2019.8883823.
- [18] R. Hockey. (2013). *The Psychology of Fatigue: Work, Effort and Control*. New York.
- [19] P. Aricò, G. Borghini, G. Di Flumeri, A. Colosimo, R. Benhacene, and F. Babiloni. (2016). "Adaptive Automation Triggered by EEG-Based Mental Workload Index: A Passive Brain-Computer Interface Application in Realistic Air Traffic Control Environment," vol. 10, no. October, pp. 1–13, doi: 10.3389/fnhum.2016.00539.