

# Simulasi *runway* untuk mengoptimalkan kapasitas *runway* di Bandara Internasional Juanda dengan metode *time space*

Okni Anita Candra Dewi<sup>1</sup>, Winda Narulidea<sup>1</sup>, Muhammad Eka Kurniawan<sup>1</sup>, Faisal Riza<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Logistics Engineering, Universitas Internasional Semen Indonesia

<sup>2</sup>Air Navigation Juanda

Corresponding author: [oki.dewi@uisi.ac.id](mailto:oki.dewi@uisi.ac.id)

---

**Abstrak.** Transportasi saat ini merupakan bagian yang sangat fundamental dalam kehidupan untuk melakukan perpindahan. Salah satu moda transportasi yang sering digunakan adalah pesawat terbang yang memiliki keuntungan secara ekonomis dibandingkan jenis transportasi lain. Teknologi pada pesawat terbang memungkinkan terjadinya peningkatan demand dari tahun ke tahun. Padatnya demand dari penumpang di Bandara Internasional Juanda Surabaya membuat antrian pesawat pada runway, salah satunya runway 10. Runway tersebut adalah ujung dari landasan pacu yang digunakan untuk take off dan landing. Runway capacity dari bandara Internasional Juanda Surabaya mempunyai kapasitas yang terbatas. Mengkaji perubahan jadwal pesawat dengan menggunakan simulasi di Bandara diharapkan dapat mengoptimalkan antrian pesawat pada single runway Bandara Internasional Juanda Surabaya. Selain itu, penelitian ini dapat meminimasi waktu tunggu pesawat di runway sebelum keberangkatan dan sebelum landing di udara. Metode yang digunakan Time Space Diagram. Untuk menguji metode tersebut dikembangkan program berbasis Microsoft Excel. Dengan melakukan penelitian menggunakan program dan metode tersebut diharapkan mendapatkan hasil yang optimal dan harapannya menjadi masukan terhadap pihak Air Navigation, sehingga lebih memudahkan pihak perusahaan untuk mengambil keputusan.

Kata kunci: Transportasi Udara, Bandara, Runway, Simulasi

**Abstract.** *Transportation is one of the fundamental things in life today for movement. Airplanes as one of the modes of transportation have been widely used by the public. The advantages of using transportation are one of the best because of the most economical transportation with other transportation. Technology on aircraft that allows this transportation Demands for aircraft continue to increase from year to year.*

*Dense demand from passengers at Juanda International Airport in Surabaya makes aircraft queues on runways, one of which is runway 10. This runway is the end of the runway used for takeoff and landing. The runway capacity of Surabaya's Juanda International Airport has a limited capacity. Reviewing flight schedules using simulations at the airport is expected to optimize aircraft queues on a single runway at Juanda International Airport, Surabaya. In addition, this study can minimize aircraft waiting time on the runway before flying and before landing in the air. The method used is Time Space Diagrams. To be approved the method developed by this program is based on Microsoft Excel. By conducting research using programs and methods that are expected to obtain optimal results and expectations are input for the Air Navigation, making it easier for the company to make decisions.*

Keywords: Air Transportation, Airports, Runway, Simulation.

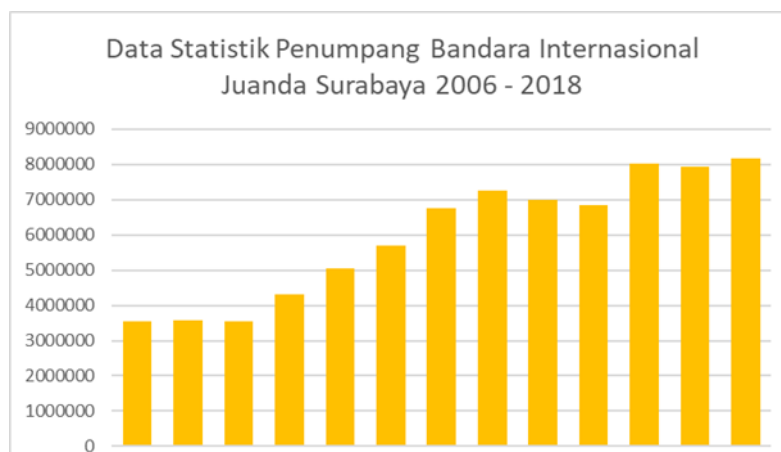
---

## 1 Pendahuluan

Transportasi adalah salah satu hal terpenting dalam hidup untuk pergerakan. Manusia di dunia sangat bergantung pada bagaimana mereka memindahkan orang dan barang dari satu tempat ke tempat lain (Business Dictionary, 2011). Transportasi sangat penting bagi suatu negara. Ini karena pertumbuhan ekonomi dipengaruhi oleh kemampuan transportasi di suatu negara. Selain mendukung pertumbuhan ekonomi, transportasi juga dapat mendukung aspek pariwisata Indonesia. selain itu pentingnya transportasi yaitu sebagai pendorong dan penggerak pertumbuhan logistik dan pengembangan wilayah (Sutandi, 2015).

Di Indonesia, transportasi umum adalah salah satu fokus utama di pemerintahan. Beberapa jenis transportasi umum ditingkatkan termasuk transportasi udara. Transportasi udara memfasilitasi integrasi ke dalam ekonomi global dan menyediakan konektivitas vital pada skala nasional, regional dan internasional (World Bank, 2017). Bank Dunia telah mendanai proyek transportasi udara selama lebih dari enam puluh tahun (World Bank, 2017) dengan upaya untuk membantu menghasilkan perdagangan, mempromosikan pariwisata, dan menciptakan peluang kerja (World Bank, 2017). Selain itu, ada sejumlah alasan orang memutuskan untuk memilih pesawat transportasi, yaitu transportasi udara adalah transportasi yang paling menghemat waktu dibandingkan dengan jenis transportasi lainnya. Teknologi canggih dalam pesawat memungkinkan transportasi ini sepuluh kali lebih cepat daripada jenis transportasi lainnya. Tetapi kelemahan dari transportasi ini adalah transportasi sangat tergantung pada kondisi cuaca.

Teknologi pada pesawat terbang memungkinkan terjadinya peningkatan demand dari tahun ke tahun. Beberapa bandara di Indonesia yang berkontribusi besar terhadap peningkatan jumlah penumpang di Indonesia antara lain Bandara Soekarno Hatta, Bandara Juanda, Bandara Hasanudin, Bandara Ngurah Rai, dan Bandara Kualanamu. Bandara Soekarno Hatta sebagai bandara tersibuk di Indonesia dapat berangkat dan mendarat sebanyak 50 juta penumpang per tahun. Bandara Juanda (Juanda) sebagai bandara tersibuk kedua di Indonesia juga memiliki peran penting. Meskipun jumlah penumpang di Juanda hampir setengah dari bandara Soekarno Hatta, arus di bandara masih cukup tinggi dibandingkan dengan bandara lain. Juanda sebagai salah satu bandara di Indonesia yang memiliki target cukup tinggi. Menurut kepala manajer, Juanda memiliki landasan pacu tunggal dengan 28 kapasitas untuk penerbangan normal dan 5 kapasitas untuk keadaan darurat. Juanda dapat menangani rata-rata 400 penerbangan setiap hari yang termasuk kedatangan penerbangan dan keberangkatan penerbangan. Namun, terkadang ada penundaan yang menyebabkan aliran penerbangan tidak berfungsi sesuai jadwal. Peningkatan demand di bandara Juanda Surabaya dapat dilihat dengan peningkatan jumlah penumpang di bandara tersebut dan ditunjukkan pada gambar 1. Pada gambar tersebut dapat dilihat secara rata-rata terjadi peningkatan permintaan dari tahun ke tahun. Meskipun di tahun 2014 dan 2015 terjadi sedikit penurunan permintaan namun di tahun selanjutnya kembali meningkat. Selama 10 tahun, peningkatan jumlah penumpang cukup signifikan yaitu hampir 2 kali lipatnya. Pada tahun 2016 sampai 2018, jumlah penumpang mulai stabil dan menunjukkan bahwa kapasitas runway sudah mendekati 100% dengan rata-rata pelayanan penerbangan yang cukup tinggi.



**Gambar 1** Data statistik penumpang bandara internasional Juanda Surabaya  
(Sumber: Air Navigation, 2016)

Bandara merupakan bagian dari sistem penerbangan untuk mendukung penumpang dan maskapai dengan menyediakan tempat untuk transfer penumpang dan barang. Menurut Graham (2014) bandara adalah tempat yang menyediakan semua infrastruktur yang diperlukan untuk memungkinkan penumpang dan pengiriman untuk berpindah dari moda transportasi lain ke transportasi udara dan memungkinkan maskapai lepas landas dan mendarat. Bandara dibagi menjadi 2 berdasarkan penggunaan fasilitas: sisi udara dan sisi darat. Setiap bandara terdiri dari landasan pacu, taxiway, ruang parkir pesawat (apron), gerbang, terminal penumpang dan barang, dan pertukaran transportasi darat.

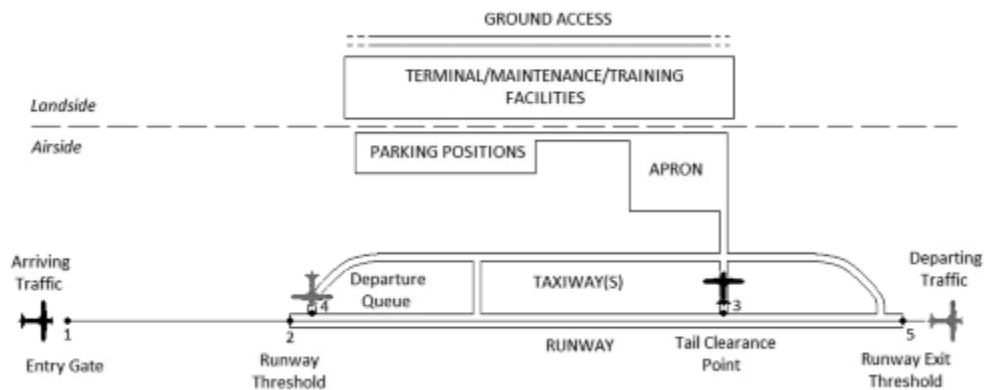
Fasilitas perencanaan bandara juga tergantung pada parameter, komposisi pesawat, dan frekuensi penerbangan. Oleh karena itu, untuk melakukan evaluasi berdasarkan kondisi yang ada, perkiraan

permintaan dan perkiraan frekuensi perlu dilakukan terlebih dahulu. Pergerakan pesawat bandara tergantung pada variasi pesawat, aturan penerbangan visual dan instrumental, perangkat navigasi, dan landasan pacu. Gambar 2 menunjukkan tata ruang Bandara Juanda yang memiliki dua runway di utara dan selatan yaitu runway 10 dan runway 280. Hanya memiliki satu landasan pacu dan beberapa jalur taxiway ke apron (Air Navigation, 2016).



**Gambar 2** Juanda Airport Layout (Sumber: Google maps)

Terjadinya antrian pesawat dikarenakan banyaknya jumlah pesawat yang datang untuk landing lebih dari jumlah kapasitas runway pada bandara, sehingga dari penyebab antrian pesawat tersebut dapat menyebabkan penundaan penerbangan. Gambar 3 berikut adalah layout dari bandara dengan landasan tunggal (*single runway*).



**Gambar 3** Single Runway (Sumber: Cetek et al, 2014)

Pada gambar diatas menjelaskan sistem *single runway* pada bandara yang terdiri dari dua 2 ujung yaitu ujung landasan kedatangan dan ujung landasan pacu keberangkatan. Pada gambar 3 diatas terdapat lima (5) bagian dari sistem *single runway*. (1) adalah titik dimana pesawat melakukan pendaratan, operasi pendaratan dimulai ketika pesawat melewati batas landasan pendaratan titik ke (2), pendaratan pesawat tergantung pada jarak dan kecepatan pesawat. Untuk pada titik ke (3) adalah akhir dari pesawat meninggalkan landasan izin ekor, pada titik ke (4) pesawat sudah memasuki landasan pacu antrian keberangkatan dan memacu pesawat meninggalkan batas akhir landasan titik ke (5).

Masalah yang terjadi pada komponen *runway* adalah terjadinya penundaan penerbangan yang disebabkan oleh permintaan lalu lintas yang tinggi dan kapasitas bandara yang terlalu rendah (Fiore, Vaishali Leibensperger, 2015) sehingga menimbulkan dampak negatif seperti meningkatnya biaya perjalanan penumpang, biaya operasi penerbangan, dan kerusakan lingkungan karena banyaknya konsumsi bahan bakar dan emisi gas. Atkin, Burke, Greenwood, Reeson (2004, 2007, 2009) melakukan penelitian pada *single runway* yang mempertimbangkan kendala routing di holding point. Penelitian tersebut menggunakan metaheuristic dengan algoritma tabu search untuk mengevaluasi urutan penerbangan.

Penelitian yang focus pada permasalahan ground routing problem (GRP) dan Runway Sequencing Problem (RSP) telah diteliti oleh Atkin, Burke, Ravizza (2010), Bennell, Mesgapour, Potts (2011), Lieder, Briskorn, Stolletz (2015) dan Guepet, Briant, Gayon, Acuna-Agost (2016) yang mana RSP menjadi permasalahan yang lebih kritis dibandingkan dengan GRP. Beberapa penelitian membahas RSP pada *single runway* (Graham, 2014. Julien, 2017, Cetek, 2014. Chao, 2008). Menurut Julien (2017) RSP terdiri dari urutan operasi landasan yang menentukan di mana urutan dan kapan setiap pesawat lepas landas, mendarat atau melintasi landasan dengan memastikan tingkat keamanan di setiap urutan.

Menurut Guepet (2017) terdapat dua perbedaan dalam mengoptimalkan kapasitas runway yaitu (1) pesawat di dorong sesegera mungkin dari taxiway ke runway (2) urutan dijalankan berdasarkan 3 langkah yaitu pertama menghitung estimasi waktu tercepat masuk runway pada setiap pesawat yang berada di taxiway, kedua: mengoptimalkan urutan urutan take-off, yang ketiga: perpindahan ground yang dijadwalkan sesuai prediksi. Langkah kedua ini yang sering disebut dengan Airport Collaborative Decision Making (A-CDM) (Eurocontrol, 2009). Penelitian Deau, Gotteland, Durand (2008, 2009) pertimbangan dalam pendekatan urutan di runway hampir sama dengan A-CDM namun menambahkan Target Take-Off Times (TTOTs) pada model routing. TTOTs ini menggunakan algoritma Branch and Bound untuk meminimasi delay dari keberangkatan dan slot deviasi. Sedangkan Keith dan Richards (2008) mengusulkan Mixed Integer Linear Programming (MILP) untuk mengintegrasikan RSP dan GRP pada model *single runway*.

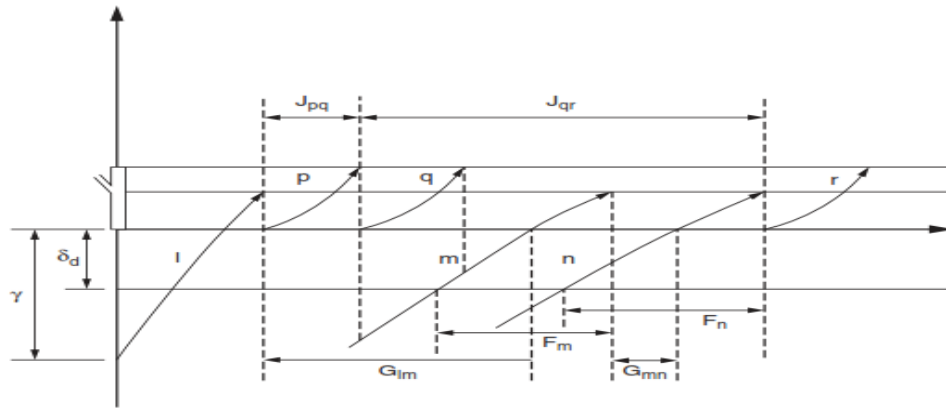
Pada kondisi ideal, untuk landasan tunggal dapat mengoptimalkan masalah penundaan penerbangan tersebut sehingga masalah pada penundaan penerbangan tersebut dapat di minimumkan. Untuk masalah pada landasan tunggal bisa dipecahkan dengan menggunakan metode simulasi antara kedatangan pesawat dengan keberangkatan pesawat. Otoritas Penerbangan Sipil telah mengembangkan model komputer untuk mewakili landasan tunggal di bandara dan dengan mengubah parameter model tersebut digunakan metode simulasi untuk menilai tingkat layanan (Attwooll, 2010). Model dijalankan pada tingkat lalu lintas yang akan selalu menghasilkan antrean kedatangan dan keberangkatan pesawat yang menunggu untuk menggunakan landasan. kapasitas landasan pacu per jam dapat di definisikan sebagai kapasitas yang menghasilkan penundaan rata-rata.

Oleh karena itu, simulasi dengan beberapa skenario dapat dilakukan untuk meminimalkan terjadinya masalah ini. Dalam menghitung pergerakan pesawat di bandara, teori antrian digunakan dalam perhitungan. Input data adalah permintaan dan pergerakan pesawat di bandara. Perangkat lunak VBA di Excel digunakan untuk mensimulasikan kondisi bandara saat ini.

## 2 Metode

Metode untuk menghitung antrian pesawat adalah Time Space Diagram. Diagram ruang waktu adalah metode untuk memahami urutan operasi pesawat terbang pada sistem landasan pacu dan di wilayah udara yang berdekatan. Tiga kedatangan dan tiga keberangkatan dilayani. Ada tiga aturan sequencing dasar untuk melayani pesawat:

1. Dua pesawat tidak dapat beroperasi di landasan pacu pada saat yang sama
2. Pesawat yang tiba memiliki prioritas dalam penggunaan landasan pacu pada pesawat yang berangkat
3. Keberangkatan dapat dirilis jika landasan pacu jelas dan kedatangan berikutnya setidaknya jarak tertentu dari ambang landasan pacu.



**Gambar 4** Konsep diagram ruang waktu untuk operasi campuran pada sistem runway  
(Sumber: Horonjeff, 2010)

- J = the average time interval between successful departures
- p = departures of 1st flight
- q = departures of 2nd flight
- r = departures of 3th flight
- l = arrival 1
- m = arrival 2
- n = arrival 3
- $\gamma$  = entry point (mile)
- $\delta^d$  = threshold (mile)
- G<sub>lm</sub> = distance of arrival for flight 1 and m (mile)
- G<sub>mn</sub> = distance of arrival for flight n and n (mile)
- F<sub>m</sub> = time distance interval m to n (Sec)
- F<sub>n</sub> = time distance interval n with departure r (Sec).

### 3 Hasil dan Pembahasan

Simulasi ini dijalankan berdasarkan data rencana penerbangan dengan mengamati metode ruang waktu. Simulasi ini dikembangkan menggunakan VBA Excel untuk menghasilkan jadwal yang sesuai dengan urutan tingkat darurat pesawat. Bentuk simulasi dapat dilihat pada gambar 5.



**Gambar 5** Display simulasi

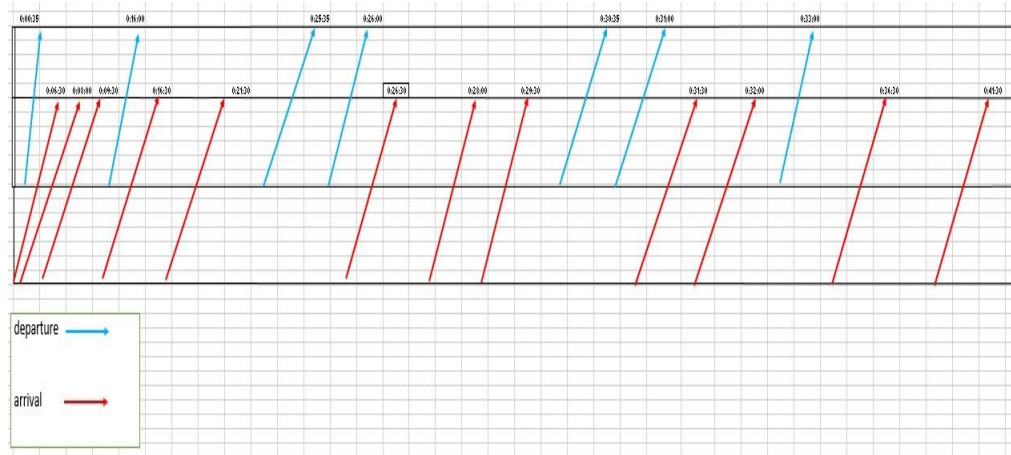
Dalam data dapat dilihat bahwa jadwal penerbangan dengan waktu yang sama tidak dapat dilakukan bersama karena kondisi satu landasan pacu. ini membutuhkan pemisahan waktu untuk menjadwalkan lebih nyata. jika ada jadwal keberangkatan dan kedatangan antara keberangkatan dan kedatangan pesawat, hasil perhitungan berbeda tentang jumlah keberangkatan yang tumpang tindih baik untuk keberangkatan atau kedatangan, sehingga jadwal tidak dapat digunakan dan antrian penerbangan akan lebih lama.

Keberangkatan keberangkatan dengan keberangkatan, kedatangan dan keberangkatan dengan kedatangan dan sebaliknya. Pada tabel 1 dapat dilihat kondisi eksisting sesuai dengan jadwal yang didapatkan pada saat penelitian dan bagian kanan merupakan jadwal yang diusulkan setelah penambahan perhitungan time space berdasarkan pertimbangan kode penerbangan, jarak tempuh pesawat, ukuran pesawat yang menghasilkan deviasi yang dapat dilihat pada bagian sisi kanan. Waktu yang digunakan adalah waktu GMT serta jadwal penerbangan telah diurutkan berdasarkan jam penerbangan terkecil. Hal ini bertujuan untuk mengetahui urutan secara waktu dan diurutkan berdasarkan kode penerbangan. Dua penerbangan pertama masih dapat dijalankan sesuai dengan waktu yang diharapkan meskipun terjadi keterlambatan sedikit karena kebutuhan waktu departure (D) dan arrival (A). dari table tersebut juga dapat dilihat bahwa perbandingan kondisi yang ada berbeda dengan kondisi yang diusulkan seperti nomor penerbangan GIA302 dan kedatangan AWQ7688. Ada perbedaan waktu untuk kedatangan karena ada jarak antara satu pesawat dan pesawat lain.

**Tabel 1** Hasil Simulasi

Existing Condition				Propose Schedule					
Type	Flight No.	Code	Time	Flight No.	Code	Separation	Time	Deviation	Analysis
739	LNI690	D	0:00	LNI690	D	0:00:35	0:00:35	0:00:35	Suitable
739	LNI691	A	0:05	LNI691	A	0:01:30	0:06:30	0:01:30	Suitable
738	GIA302	A	0:05	GIA302	A	0:01:30	0:08:00	0:03:00	Go Around
320	AWQ7688	A	0:05	AWQ7688	A	0:01:30	0:09:30	0:04:30	Go Around
320	BTK7510	D	0:15	BTK7510	D	0:01:00	0:16:00	0:01:00	Suitable
739	LNI801	A	0:15	LNI801	A	0:01:30	0:16:30	0:01:30	Suitable
738	LNI367	A	0:20	LNI367	A	0:01:30	0:21:30	0:01:30	Suitable
739	LNI571	D	0:25	LNI571	D	0:00:35	0:25:35	0:00:35	Suitable
320	BTK6174	D	0:25	BTK6174	D	0:01:00	0:26:00	0:01:00	Suitable
735	LKN377	A	0:25	LKN377	A	0:01:30	0:26:30	0:01:30	Suitable
738	LNI918	A	0:25	LNI918	A	0:01:30	0:28:00	0:03:00	Go Around
320	CTV712	A	0:25	CTV712	A	0:01:30	0:29:30	0:04:30	Go Around
739	LNI748	D	0:30	LNI748	A	0:01:30	0:31:30	0:01:30	Suitable
ATR	WON1800	D	0:30	WON1800	A	0:02:00	0:33:30	0:03:30	Suitable
CRK	GIA368	A	0:30	GIA368	D	0:00:35	0:34:05	0:04:05	Suitable
320	AWQ7689	A	0:30	AWQ7689	D	0:01:00	0:35:05	0:05:05	Go Around
ATR	WON1839	D	0:30	WON1839	D	0:01:30	0:36:35	0:06:35	Go Around

Dalam Gambar 6 adalah hasil perhitungan untuk diagram ruang waktu, dimasukkan dalam diagram ruang waktu pesawat dapat dilihat untuk waktu keberangkatan dan kedatangannya. Kode warna diagram ruang waktu ada dua yaitu biru dan merah, di mana biru adalah kode warna untuk garis keberangkatan dan untuk kode warna dari garis merah adalah kedatangan



Gambar 6 Time space diagram

#### 4 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa berdasarkan perhitungan menggunakan metode Time Space Diagram dan memasukkan data klasifikasi pesawat, hasilnya menunjukkan bahwa banyak waktu tumpang tindih baik untuk keberangkatan dan kedatangan. Untuk mengatasi masalah penumpukan waktu, kita dapat menambahkan pemisahan waktu penerbangan untuk keberangkatan atau kedatangan. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai pertimbangan dalam menentukan jadwal pesawat dan jadwal penundaan.

#### Referensi

- Air navigation. Juanda Aerodrome control service. 2016. Surabaya
- Atkin, J.A.D., Burke, E.K., Greenwood, J.S., Reeson, D., A metaheuristic approach to aircraft departure scheduling at London Heathrow Airport. *Electronic Proceeding of the 9th International Conference on Computer Aid Scheduling of Public Transport*, San Diego, California, USA. 2004.
- Atkin, J.A.D., Burke, E.K., Greenwood, J.S., Reeson, D., Hybrid metaheuristics to aid runway scheduling at London Heathrow Airport. *Transport. 2007. Sci. 41 (1)*, 90–106.
- Atkin, J.A.D., Burke, E.K., Greenwood, J.S., Reeson, D., An examination of take-off scheduling constraints at London Heathrow Airport. *2009. Public Transp. 1*, 169-187.
- Atkin, J.A.D., Burke, E.K., Ravizza, S. The airport ground movement problem: past and current research and future direction. 2010. *Proceeding of 4th International Conference on Research in Air Transportation*, Budapest, Hungary.
- Attwooll, V.W., Hayfield, C.P. *The Capacity of a Single Runway S.T.O.L/R.T.O.L. Airport*, Dublin. 2010.
- Bennell, J.A., Mesgarpour, M., Potts, C.N., Airport runway scheduling. *4OR - A Quart. J. Operat. 2011. Res. 9*, 115–138.
- Business Dictionary. Transportation. Department of Aerospace Engineering Indian Institute of Technology Madras. Classification of Aircraft and Spacecraft. Retrieved April 18, 2017, from [www.ae.iitm.ac.in](http://www.ae.iitm.ac.in)
- Cetek., FA. Simulation modelling of runway capacity for flight training airports. *The Aeronautical Journal. 2014. pp 143-154*.
- Chao w., Xinyue Z. and XiAohAo, X. Simulation study on airfield system capacity analysis using SIMMOD, *International Symposium on Computational Intelligence and Design*, 2008, pp 87-90.
- Deau, R., Gotteland, J.-B., Durand, N., Runways sequences and ground traffic optimization. In: *Proceedings of the 3rd International Conference on Research in Air Transportation*, Fairfax, USA. 2008.
- Deau, R., Gotteland, J.-B., Durand, N., Airport surface management and runways scheduling. In: *Proceedings of the 8th USA/Europe Air Traffic Management R&D Seminar*, Napa, USA. 2009.
- Eurocontrol, 2009. Airport CDM Leaflet, January <[http://www.euro-cdm.org/library/cdm\\_leaflet.pdf](http://www.euro-cdm.org/library/cdm_leaflet.pdf)>
- Fiore, Arlene M. Naik, Vaishali. Leibensperger, Eric M. *Air Quality and Climate Connections, Journal of the Air & Waste Management Association*, Palisades, NY, USA. 2015.
- Graham, A. *Managing Airports, an International Perspective*. 2014. (4th ed.). New York: Routledge.
- Guépet, J., Briant, O., Gayon, J.P., Acuna-Agost, R., The aircraft ground routing problem: analysis of industry punctuality indicators in a sustainable perspective. *Euro. J. Operat. 2016. Res. 248 (3)*, 827–839.
- Guépet, J., Briant, O., Gayon, J.P., Acuna-Agost, R., Integration of aircraft ground movement and runway operations. *Transportation Research part E. 2017. 104. Pp 131-149*.

- Horonjeff R, Francis X, Mckelvey William J, Sproule, Seth B Young. Planning and Design of Airports. New York. McGrawHill. Edisi 5. 2010.
- Keith, G., Richards, A., Optimization of taxiway routing and runway scheduling. In: Proceedings of AIAA Guidance, Navigation and Control Conference, Honolulu, Hawaii, USA. 2008.
- Lieder, A., Briskorn, D., Stolletz, R., A Dynamic Programming Formulation for the Aircraft Landing Problem with Aircraft Classes. Euro. J. Operat. 2015. Res. 243, 61–69.
- Sutandi C. *Pentingnya Transportasi Umum untuk Kepentingan Publik*. Jurnal Administrasi Publik. 2015. Vol 12/1.
- World Bank. Air Transport. Retrieved March 20, 2017, from [www.worldbank.org](http://www.worldbank.org)2017