

## PERBAIKAN KINERJA *TURNAROUND OPERATIONS* DI BANDARA DENGAN MEMPERTIMBANGKAN KETIDAKPASTIAN CUACA

Ahmed Raecky Baihaqy<sup>1\*</sup>, Nurhadi Siswanto<sup>2</sup>, Effi Latiffianti<sup>3</sup>

\*E-mail korespondensi : [6010221001@student.its.ac.id](mailto:6010221001@student.its.ac.id)

<sup>1,2,3</sup>Departemen Teknik Sistem dan Industri, Fakultas Teknologi  
Industri dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia

### ABSTRAK

Aviasi telah menjadi aspek yang penting bagi manusia karena kemampuannya untuk membawa manusia ke tempat yang jauh dengan durasi singkat dan biaya yang relatif rendah. Akan tetapi, kegiatan aviasi sangat dipengaruhi oleh kejadian yang tak pasti seperti kondisi cuaca. Salah satu kegiatan yang terdampak oleh kedua kejadian ini adalah *turnaround operations*. *Turnaround operations* merupakan kegiatan yang dilakukan untuk mempersiapkan pesawat untuk penerbangan selanjutnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dan memperbaiki kinerja *turnaround operations* baik dari sisi durasi keterlambatan relatif ( $\Delta T\%$ ) maupun *on-time performance* (OTP) menggunakan pendekatan simulasi kejadian diskrit. Hasil yang diperoleh dari model simulasi menunjukkan bahwa nilai  $\Delta T\%$  sebesar 43.48% dan OTP sebesar 54.20%. Skenario perbaikan dikembangkan dengan menyusun penjadwalan dan alokasi *ground support staff* (GSS) yang baru dan penambahan GSS dengan tingkat tertentu. Skenario dengan menerapkan jadwal dan alokasi baru serta penambahan GSS sebesar 50% keluar sebagai skenario terpilih yang mampu memperbaiki nilai  $\Delta T\%$  dan OTP menjadi 33.35% dan 54.91% secara berturut-turut.

**Kata kunci:** *turnaround operations*, ketidakpastian cuaca, simulasi

### ABSTRACT

Aviation has become an important aspect in human life thanks to its ability to transport people to faraway places with short duration and relatively low cost. However, aviation activities are highly influenced by uncertain events such as weather conditions. One of the activities that is impacted by these 2 events is *turnaround operations*. *Turnaround operations* is an activity performed to prepare aircraft for the next flight. This research aims to evaluate and improve *turnaround operations* performance both from relative duration tardiness ( $\Delta T\%$ ) and *on-time performance* (OTP) using discrete-event simulation approach. Results obtained from simulation model show that the value of  $\Delta T\%$  is 43.48% and OTP of 54.20%. Improvement scenarios are developed by arranging the new *ground support staff* (GSS) schedule and allocation as well as adding GSS at a certain rate. Scenario of implementing new schedule and allocation and adding GSS with rate of 50% comes out as the selected scenario which could improve  $\Delta T\%$  and OTP performance to become 33.35% and 54.91% respectively..

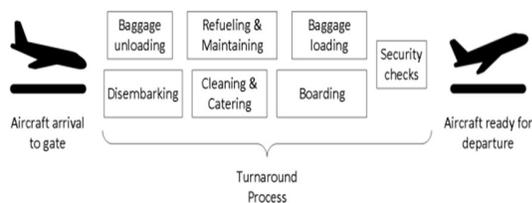
**Keywords:** *turnaround operations*, weather uncertainty, simulation

### PENDAHULUAN

Kegiatan aviasi menjadi aspek yang sangat penting bagi hampir semua orang. Kegiatan aviasi khususnya penerbangan memungkinkan manusia untuk pergi ke tempat yang jauh dengan biaya dan waktu yang relatif rendah. Akan tetapi, kegiatan aviasi sangat sensitif pada hal yang sifatnya tidak pasti (*uncertain*) dan disruptif, salah satunya adalah cuaca. Kegiatan aviasi, baik di udara maupun di darat, sangat bergantung pada keadaan cuaca untuk dapat beroperasi dengan mulus (Qualley, 1997). Kondisi cuaca yang buruk dapat mengganggu ketepatan waktu kedatangan maupun

keberangkatan pesawat. Menurut Kulesa (2002), beberapa fenomena cuaca yang dapat mengganggu kegiatan aviasi antara lain hujan badai, *in-flight icing*, turbulensi di udara, *low ceiling* dan *low visibility*, *ground de-icing*, dan erupsi gunung berapi. Tidak hanya di udara, fenomena cuaca yang telah disebutkan juga berdampak pada kinerja kegiatan di darat atau di bandara. Salah satu kegiatan di bandara yang akan terdisrupsi oleh kondisi cuaca adalah *turnaround operations*. *Turnaround operations* merupakan serangkaian kegiatan yang berada di antara waktu kedatangan dan keberangkatan pesawat yang perlu dilakukan untuk mempersiapkan pesawat untuk

penerbangan menuju bandara selanjutnya (Wignall, 2022). San Antonio *et al* (2017) menggambarkan secara umum jenis kegiatan yang dilakukan pada *turnaround operations* yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Kegiatan *turnaround operations* (San Antonio *et al*, 2017)

Karena *turnaround operations* dilakukan di tempat terbuka yakni *apron*, maka kegiatan *turnaround operations* akan sangat bergantung pada kondisi cuaca. Apabila kondisi cuaca sedang buruk, maka durasi penyelesaian *turnaround operations* menjadi lebih panjang yang berpotensi pada keterlambatan keberangkatan pesawat. Durasi *turnaround operations* yang lama juga dapat disebabkan oleh waktu menunggu untuk sumber daya tersedia dan siap dialokasikan. Apabila jumlah sumber daya yang disediakan kurang memadai, maka akan sangat dimungkinkan adanya pesawat yang terlambat dalam penanganan *turnaround operations*. Akibatnya, pesawat akan mengalami keterlambatan keberangkatan dan akan berpotensi pada keterlambatan kedatangan di bandara tujuan. Sehingga, untuk mengatasi hal ini, perlu ditentukan jumlah sumber daya tambahan yang cukup dengan biaya seminimal mungkin agar mampu mempertahankan atau memperbaiki kinerja *turnaround operations* dengan diberikan kondisi tidak pasti tersebut.

Beberapa penelitian terdahulu terkait dunia penerbangan yang mempertimbangkan aspek cuaca cukup berkembang dengan bermacam-macam tujuan seperti mempelajari pengaruh perubahan iklim terhadap kinerja kegiatan aviasi (Jarošová & Pajdlhauser, 2022), *on-time performance* (OTP) kedatangan (de Oliveira *et al*, 2021; Lui *et al*, 2022), tendensi keterlambatan (Rodríguez-Sanz *et al*, 2022; Chen & Wang, 2019; Borsky & Unterberger, 2019), dan resiliensi bandara (Zhou & Chen, 2020).

Terjadinya cuaca buruk menyebabkan perubahan rencana penerbangan termasuk jadwal penerbangan. Yan & Chen (2021) mengembangkan model yang membantu bandara dalam penjadwalan ulang penerbangan dan *reassignment* penumpang ketika terjadi angin topan. Dalmau & Gawinowski (2024) juga mengembangkan model menggunakan *supervised clustering* untuk

menentukan apakah sebuah penerbangan akan dialihkan atau tidak dengan mempertimbangkan kondisi cuaca tertentu. Selain itu, Malandri *et al* (2020) mengembangkan model simulasi untuk menentukan jumlah sumber daya untuk *turnaround operations* yang tepat untuk mengatasi terjadinya *diverted flight* untuk menjaga ketepatan waktu kegiatan.

Beberapa penelitian terkait dunia penerbangan juga membahas mengenai *turnaround operations* seperti yang dilakukan oleh Malandri *et al* (2020) seperti Wu & Caves (2004a, 2004b) yang meneliti mengenai waktu *buffer*, Mota *et al* (2017a, 2017b) yang mempertimbangkan aspek teknis seperti konfigurasi *apron*, identifikasi aktivitas *bottleneck* seperti yang dilakukan oleh Lai *et al* (2021), dan perbandingan antara waktu *turnaround operations* terjadwal dan aktual (Malighetti *et al*, 2022). Kebanyakan, penelitian tentang *turnaround operations* memanfaatkan simulasi kejadian diskrit atau *discrete-event simulation* (DES) sebagai pendekatan (Malandri *et al*, 2020; Mota *et al*, 2017a; Mota *et al*, 2017b; Lai *et al*, 2021) karena kemampuannya untuk memodelkan sistem yang kompleks diakibatkan oleh variabilitas dan interdependensi dalam sistem (Harrell *et al*, 2004).

Berdasarkan tinjauan pustaka yang dilakukan, ditemukan bahwa masih belum ada studi yang meneliti dampak kejadian cuaca serta terhadap kinerja *turnaround operations* maupun kinerja bandara secara umum. Dengan demikian, penelitian ini dilakukan untuk memodelkan kegiatan *turnaround operations* dengan mempertimbangkan aspek kondisi cuaca yang bersifat *uncertain* dan disruptif. Parameter cuaca yang digunakan ialah curah hujan. Model yang dibangun digunakan untuk mengevaluasi serta memperbaiki kinerja bandara dari sisi keterlambatan relatif *turnaround operations* ( $\Delta T\%$ ) dan OTP bandara yang diukur dari sisi keberangkatan. Terakhir, penelitian ini menggunakan DES sebagai pendekatan utamanya.

## METODE PENELITIAN

### Studi Sistem

Studi sistem dilakukan untuk mengidentifikasi komponen penyusun sistem yang terdiri atas elemen, variabel, dan *key performance indicator* atau KPI (Harrell *et al*, 2004). Rincian mengenai studi sistem ditampilkan pada Tabel 1.

### Pengumpulan dan Pengolahan Data

Data menjadi komponen yang penting dalam penelitian ini. Pada penelitian ini, data yang

dikumpulkan dikategorikan menjadi 3 yakni data struktural, operasional, dan numerikal (Harrell *et al.*, 2004). Data yang dikumpulkan ada yang diperoleh dari sumber primer maupun sekunder (data referensi penelitian sebelumnya). Tabel 2 menampilkan jenis data yang dikumpulkan serta sumber perolehannya.

Tabel 1. Informasi yang Dikumpulkan pada Studi Sistem

Komponen	Subkomponen	Item
Elemen Sistem	Entitas	Pesawat
	Aktivitas	Proses pendaratan, <i>turnaround operations</i> , dan lepas landas
	Sumber Daya	<i>Ground support staff</i> (GSS), <i>ground support equipment</i> (GSE), fasilitas bandara ( <i>runway, taxiway, apron, gate</i> )
	Kontrol	Aturan pendaratan dan lepas landas, susunan aktivitas <i>turnaround operations</i> , penjadwalan dan alokasi sumber daya
Variabel Sistem	Keputusan	Penjadwalan dan jumlah alokasi sumber daya
	Respon	Keterlambatan relatif <i>turnaround operations</i> , OTP bandara
	Status	Status sumber daya, jumlah pesawat di bandara, curah hujan, jumlah sumber daya tersedia
KPI	-	Keterlambatan relatif <i>turnaround operations</i> , OTP bandara

Tabel 2. Data yang dikumpulkan dan cara perolehannya

Tipe Data	Data	Sumber
Struktural	Jenis pesawat	Fliht radar24
	Jenis kegiatan <i>turnaround</i>	Hestuningrum (2018)
	Jenis <i>resource</i>	Hestuningrum (2018), Malandri <i>et al.</i> (2020)
	Konfigurasi bandara	Angkasa Pura I
Operasional	Aliran kegiatan <i>turnaround</i>	Hestuningrum (2018)
	Aliran pergerakan pesawat di bandara	Angkasa Pura I
	Penjadwalan <i>resource</i>	-
Numerikal	Waktu kedatangan pesawat (terjadwal dan aktual)	Fliht radar24
	Waktu keberangkatan pesawat (terjadwal dan aktual)	Fliht radar24
	Durasi waktu kegiatan <i>turnaround</i>	Hestuningrum (2018)
	Kebutuhan <i>resource</i> per aktivitas <i>turnaround</i>	Hestuningrum (2018), Malandri <i>et al.</i> (2020)
	Kapasitas dan jumlah <i>resource</i> tersedia	Angkasa Pura I, Hestuningrum (2018), BMKG
	Curah hujan	BMKG

Setelah data diperoleh, data akan melalui beberapa tahapan pemrosesan. Pertama adalah *data cleaning* yang bertujuan untuk menjamin kualitas dan integritas data yang tinggi. Kedua adalah *distribution fitting*. *Fitting* dilakukan untuk memodelkan *uncertainty* untuk selanjutnya dijadikan *input* model simulasi. Data yang perlu *fitting* antara lain durasi *turnaround operations*,

rata-rata kedatangan per jam, durasi *tardiness* kedatangan, durasi parkir, dan curah hujan.

Selanjutnya adalah penentuan nilai probabilitas terjadinya sebuah *event*. Probabilitas yang ditemukan adalah peluang kedatangan pesawat (*delay, early, on time*), serta peluang pesawat untuk parkir. Terakhir, analisis korelasi dan regresi dilakukan untuk mengetahui adanya hubungan antara curah hujan dengan durasi *turnaround*. Menggunakan nilai  $\alpha = 5\%$ , hasil analisis korelasi ditampilkan oleh Tabel 3 dan persamaan regresinya ditunjukkan oleh Persamaan 1. Dari hasil yang diperoleh, dapat disimpulkan bahwa secara statistik terdapat korelasi antara curah hujan dengan durasi *turnaround operations*. Selain itu, ditemukan pula bahwa untuk setiap peningkatan 1 mm curah hujan, durasi *turnaround operations* meningkat sebesar 0.036 menit atau sekitar 2.2 detik.

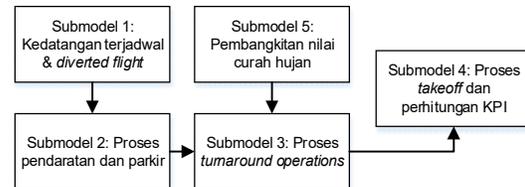
Tabel 3. Hasil analisis korelasi antara curah hujan dengan durasi *turnaround operations*

$r$	0.103	$t$ -test	1.983
$p$ -value	0.048	$t$ -crit	1.966

$$y = 78.54 + 0.036x \quad (1)$$

### Pengembangan Model

Tahapan selanjutnya adalah pengembangan model. Model yang dibangun didahului oleh model konseptual lalu diikuti dengan model simulasi yang dikembangkan berdasarkan model konseptual. Model yang dikembangkan dipecah menjadi 5 model yang lebih kecil (submodel) dengan susunan dan hubungan ditampilkan pada Gambar 2 berikut ini.



Gambar 2. Susunan dan hubungan antara submodel

### Submodel 1

Submodel pertama yang dikembangkan adalah Submodel 1 yang memodelkan proses kedatangan pesawat. Pada submodel ini, entitas berupa pesawat akan dipasangkan beberapa atribut seperti waktu kedatangan (terjadwal dan aktual), status kedatangan, durasi *turnaround operations* terjadwal, waktu keberangkatan terjadwal, peluang parkir, dan durasi parkir. Selain itu, pada model ini juga akan ditentukan apakah terdapat sumber daya berupa *runway* dan *apron* tersedia untuk pendaratan. Untuk lebih jelas, Gambar 3 menampilkan logika untuk Submodel 1 ini.

**Submodel 2**

Submodel 2 memodelkan proses pendaratan pesawat, penentuan apakah pesawat akan langsung menjalani turnaround operations atau parkir, serta penentuan apakah kegiatan turnaround operations dilakukan di gate atau apron. Gambar 4 menampilkan diagram alir logika untuk Submodel 2 ini.

**Submodel 3**

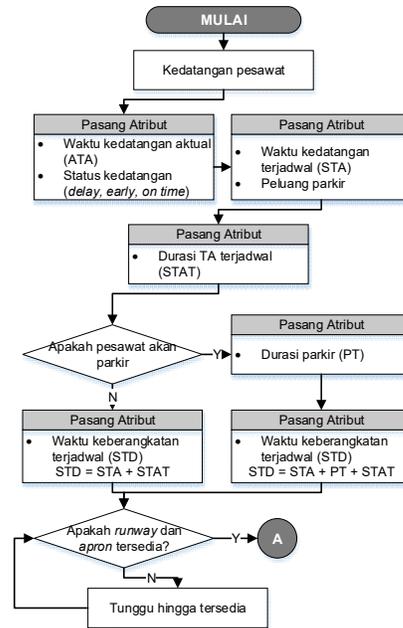
Submodel yang dikembangkan selanjutnya adalah Submodel 3 yang memodelkan kegiatan turnaround operations yang durasinya dipengaruhi oleh tingkat curah hujan. Seandainya turnaround operations dilakukan, pesawat akan diarahkan menuju runway untuk proses lepas landas. Gambar 5 menampilkan diagram alir untuk Submodel 3. Gambar 6 juga disediakan untuk menunjukkan susunan aktivitas turnaround operations pada bandara yang diamati.

**Submodel 4**

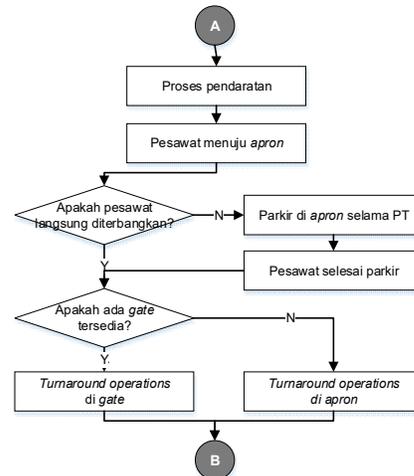
Submodel 4 dibangun untuk mewakili proses lepas landas serta pencatatan statistik entitas yang meliputi waktu turnaround operations (terjadwal dan aktual), nilai  $\Delta T\%$ , serta perhitungan OTP bandara dengan menghitung jumlah pesawat yang terbang tepat waktu maupun yang terlambat lebih dahulu. Perhitungan  $\Delta T\%$  didasari pada penelitian yang dilakukan oleh Malighetti et al (2022). Sedangkan, untuk perhitungan OTP, pesawat yang berangkat di bawah toleransi keterlambatan sebesar 15 menit dianggap tepat waktu (OAG, 2023). Gambar 7 menampilkan diagram alir untuk Submodel 4.

**Submodel 5**

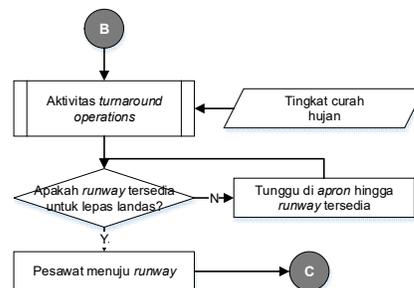
Submodel terakhir yang dibangun adalah Submodel 5 yang digunakan untuk membangkitkan nilai curah hujan secara acak sesuai dengan distribusinya. Perlu dijelaskan pula bahwa nilai curah hujan dimodelkan secara bulanan. Sehingga, pada model simulasi perlu diperiksa waktu dan tanggal simulasi untuk membangkitkan nilai curah hujan yang berkaitan dengan bulan pada tanggal simulasi. Selain itu, diasumsikan pula bahwa nilai curah hujan akan konstan selama satu hari dan baru akan berubah ketika hari selanjutnya tiba. Gambar 8 menampilkan logika pada Submodel 5.



Gambar 3. Diagram alir untuk submodel 1



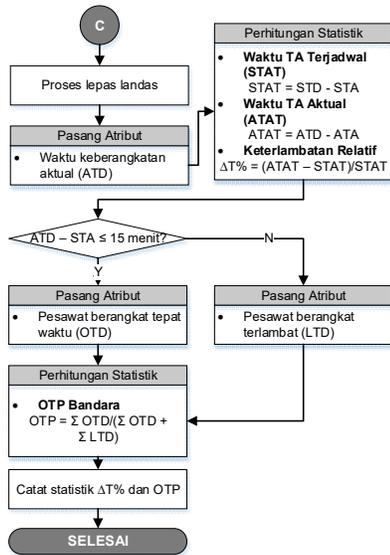
Gambar 4. Diagram alir untuk submodel 2



Gambar 5. Diagram alir untuk submodel 3



Gambar 6. Susunan aktivitas *turnaround operations*



Gambar 7. Diagram alir untuk submodel 4



Gambar 8. Diagram alir untuk submodel 5

**Replikasi, Verifikasi, dan Validasi**

Dalam simulasi, model perlu dijalankan beberapa kali arena simulasi bersifat *random input random output* (RIRO). Inilah yang disebut dengan replikasi. Replikasi diperlukan agar hasil yang diperoleh simulasi mampu mewakili sistem aktualnya. Pada penelitian ini, penentuan jumlah replikasi akan berdasarkan nilai *half-width* (*hw*) dan *expected half-width* (*hw'*) (Siswanto *et al.*, 2017). Replikasi dikatakan cukup ketika kondisi  $hw < hw'$  tercapai. Pada penelitian ini, dengan menetapkan jumlah replikasi sebanyak 10, kondisi  $hw < hw'$  telah tercapai. Dengan demikian, 10 replikasi dinyatakan telah cukup untuk

merepresentasikan hasil sistem aktual.

Selanjutnya, tahapan yang dilakukan adalah verifikasi. Verifikasi merupakan proses untuk menentukan apakah model simulasi yang dibangun telah berjalan sesuai dengan ekspektasi (Harrell *et al.*, 2004). Pada penelitian ini, ada 2 jenis verifikasi yang dilakukan yakni verifikasi *syntax error* dan verifikasi *semantic error*. Secara garis besar, verifikasi berguna untuk menjamin bahwa model simulasi yang dibangun telah bebas dari *error* (*error-free*).

Tahapan terakhir adalah validasi. Validasi merupakan prosedur yang digunakan untuk memastikan apakah model mampu merepresentasikan sistem aktual secara akurat (Hoover & Perry, 1990). Pada penelitian ini, validasi dilakukan dengan membandingkan *output* simulasi dengan *output* sistem aktual menggunakan metode statistik *t-test*. *Output* berupa 3 parameter yakni  $\Delta T\%$ , OTP bandara, dan jumlah pesawat yang diterbangkan menjadi basis untuk melakukan validasi. Berdasarkan prosedur yang dilakukan, diperoleh bahwa secara statistik, tidak ada perbedaan yang signifikan antara *output* model simulasi dengan sistem aktualnya. Artinya, dapat disimpulkan bahwa model simulasi telah valid dan mampu merepresentasikan sistem aktual.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Kondisi Eksisting**

Model simulasi dijalankan untuk periode 1 tahun sebanyak 10 kali replikasi untuk bisa memiliki komparasi yang sebanding antara model simulasi dengan sistem aktual. Tabel 3 menampilkan hasil model simulasi untuk nilai KPI  $\Delta T\%$  dan OTP bandara. Tabel 3 menampilkan hasil KPI per replikasi beserta dengan rata-rata dan standar deviasi.

Tabel 3. Hasil model simulasi

Replikasi	$\Delta T\%$	OTP Bandara
1	42.10%	53.73%
2	44.33%	54.53%
3	44.43%	54.10%
4	42.02%	54.78%
5	45.29%	54.34%
6	42.21%	54.40%
7	42.60%	54.35%
8	43.37%	54.17%
9	44.13%	53.60%
10	44.30%	54.02%
Mean	43.48%	54.20%
St. Dev.	0.012	0.004

Dari hasil simulasi, diperoleh informasi bahwa nilai  $\Delta T\%$  sebesar 43.48%. Hal ini dapat diartikan bahwa secara rata-rata, waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan *turnaround operations* 43.48% lebih lama jika dibandingkan dengan durasi terjadwalnya. Artinya, jika *turnaround operations* direncanakan berlangsung

selama 60 menit, kenyataannya *turnaround operations* diselesaikan 26.1 menit lebih lama. Selain itu, diketahui pula nilai OTP bandara sebesar 54.20%. Nilai ini mengindikasikan bahwa dari keseluruhan pesawat yang berangkat, hanya 54.20% yang diberangkatkan tepat waktu dengan toleransi keterlambatan selama 15 menit. Kedua nilai KPI ini mengimplikasikan bahwa kinerja bandara dari sisi ketepatan waktu *turnaround operations* dan keberangkatan masih perlu ditingkatkan lagi.

Nilai  $\Delta T\%$  di atas 0 mengindikasikan bahwa *turnaround operations* selalu membutuhkan waktu lebih lama dibandingkan dengan rencana durasi di awal. Apabila *turnaround operations* selesai terlambat, tentu saja besar kemungkinan pesawat akan diterbangkan terlambat pula. Sehingga, nilai OTP bandara akan menurun. Untuk mencari penyebab keterlambatan *turnaround operations*, perlu dilakukan analisis dan investigasi lebih mendalam. Dalam penelitian ini, akan dilakukan analisis beban bandara dengan melihat *trend* jumlah pesawat yang datang ke bandara dan ditangani untuk setiap jam.

**Analisis Beban Kerja dan Penjadwalan GSS**



Gambar 9. Jumlah pesawat di bandara untuk setiap jam

Dari Gambar 9, dapat dilihat bahwa ada waktu tertentu di mana jumlah pesawat sangat sedikit (*off-peak*) dan waktu saat bandara ramai (*on-peak*). Berdasarkan *trend* pergerakan pesawat yang diperoleh dari model simulasi, dapat dilihat bahwa waktu *off-peak* terjadi pada jam 21:00 hingga 06:00 dengan rata-rata hanya 1 pesawat dalam *timespan* ini. Periode *on-peak* dimulai pada jam 06:00 hingga 21:00. Selama periode *on-peak* ini, rata-rata jumlah pesawat yang datang dan ditangani adalah sebanyak 5 pesawat dengan nilai maksimum sebesar 12 pesawat yang terjadi pada jam 10:00 – 11:00.



Gambar 10. Perbandingan antara penjadwalan lama dan baru

Pada penjadwalan awal, jumlah *ground support staff* (GSS) yang dialokasikan tiap *shift* berbeda-beda dengan rincian *shift* 1 (00:00 – 08:00) sebanyak 20 orang, *shift* 2 (08:00 – 16:00) 40 orang, dan *shift* 3 (16:00 – 00:00) sebanyak 30 orang. Periode *on-peak* dan *off-peak* serta rata-rata jumlah pesawat ini yang akan dibandingkan dengan penjadwalan eksisting. Mengasumsikan bahwa setiap pesawat memerlukan personal GSS sebanyak 10 orang, artinya terdapat ketidakseimbangan dan kekurangan personal jika ditinjau dari penjadwalan awal. Pada periode *off-peak* terjadi surplus personal, sedangkan periode *on-peak* mengalami defisit sumber daya. Ketidakseimbangan jumlah personal ini mengakibatkan *delay* karena pesawat perlu menunggu anggota GSS tersedia untuk dialokasikan. *Delay* ini akan menyebabkan durasi *turnaround operations* menjadi lebih panjang dan semakin besar peluang pesawat untuk terlambat diberangkatkan.

Dengan demikian, untuk mengatasi permasalahan tersebut, penjadwalan ulang untuk GSS diperlukan. Karena pada periode *on-peak* terdapat pesawat sebanyak 5 armada dan *off-peak* sebanyak 1 armada secara rata-rata, maka pada jam *on-peak* sebanyak 50 orang GSS akan dialokasikan dan hanya 10 orang GSS ditugaskan pada periode *off-peak*. Perbandingan antara jumlah GSS yang ditugaskan pada penjadwalan lama dan baru diilustrasikan oleh Gambar 10.

**Eksperimentasi**

Tabel 4. Skenario perbaikan

Skenario	Kondisi	
	Jadwal Baru	Penambahan GSS
0 (Existing)	-	-
1	•	-
2	•	25%
3	•	50%
4	•	100%

Proses eksperimentasi dilakukan dengan cara menyusun skenario perbaikan. Dalam penelitian, salah satu skenario perbaikan yang diimplementasikan adalah penjadwalan dan alokasi GSS yang baru. Selain itu, akan dikembangkan pula skenario di mana jumlah GSS akan ditingkatkan berdasarkan persentase tertentu yakni 25%, 50%, dan 100%. Penambahan jumlah GSS ini ditujukan untuk memastikan apakah terdapat dampak yang konkrit terhadap perbaikan KPI apabila jumlah sumber daya diperbanyak. Pada penelitian ini, dihasilkan 4 skenario perbaikan yang detailnya ditampilkan pada Tabel 4. Setelah menjalankan model simulasi berdasarkan skenario perbaikan yang telah dikembangkan, *output* skenario perbaikan pun dihasilkan dan ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil skenario perbaikan

Skenario	$\Delta T\%$		OTP Bandara	
	Mean	St. Dev	Mean	St. Dev
0	43.48%	0.012	54.20%	0.004
1	36.04%	0.010	54.83%	0.002
2	34.19%	0.016	54.93%	0.003
3	33.35%	0.011	54.91%	0.003
4	32.88%	0.008	54.99%	0.003

Perlu digarisbawahi pula bahwa sebuah skenario dikatakan memiliki kinerja yang lebih baik ketika nilai  $\Delta T\%$  lebih rendah dan nilai OTP bandara lebih tinggi daripada kondisi eksisting. Secara kasat mata, dapat dilihat dari Tabel 5 bahwa skenario menghasilkan kinerja yang lebih baik dibandingkan kondisi eksisting. Akan tetapi, pengujian secara statistik masih diperlukan untuk memastikan apakah setidaknya ada 1 skenario yang signifikan berbeda baik dari nilai  $\Delta T\%$  maupun OTP. Untuk itu, prosedur *one-way* ANOVA dilakukan untuk kedua nilai KPI. Gambar 11a dan 11b secara berturut-turut menampilkan hasil *one-way* ANOVA berdasarkan nilai  $\Delta T\%$  dan OTP bandara.

## Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	4	0.075948	92.73%	0.075948	0.018987	143.42	0.000
Error	45	0.005957	7.27%	0.005957	0.000132		
Total	49	0.081906	100.00%				

(a) KPI  $\Delta T\%$ 

## Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	4	0.000417	49.83%	0.000417	0.000104	11.17	0.000
Error	45	0.000420	50.17%	0.000420	0.000009		
Total	49	0.000838	100.00%				

(b) KPI OTP Bandara

Gambar 11. Hasil *one-way* ANOVA

Prosedur *one-way* ANOVA dilakukan dengan memasang nilai *significance level* ( $\alpha$ ) sebesar 5%. Dari Gambar 11, dapat dilihat bahwa kedua nilai *p-value* berada di bawah 5%, mengindikasikan bahwa setidaknya ada 1 populasi yang secara signifikan berbeda, antara kondisi eksisting maupun skenario. Selanjutnya, prosedur yang perlu dilakukan adalah pemilihan skenario perbaikan. Tahapan ini perlu dilaksanakan untuk bisa menawarkan skenario perbaikan menjadi salah satu solusi yang potensial untuk memperbaiki kinerja sistem. Sehingga, perlu dicari skenario yang memiliki kinerja lebih *superior* dibandingkan kondisi eksisting maupun skenario lainnya. Tahapan ini dilakukan dengan memanfaatkan prosedur Fisher's Least Significance Different (LSD). Masih sama dengan *one-way* ANOVA, prosedur Fisher's LSD dilakukan dengan memasang  $\alpha = 5\%$

## Grouping Information Using the Fisher LSD Method and 95% Confidence

Factor	N	Mean	Grouping
Eksisting	10	0.43478	A
Skenario 1	10	0.36040	B
Skenario 2	10	0.34189	C
Skenario 3	10	0.33353	C D
Skenario 4	10	0.32879	D

Means that do not share a letter are significantly different.

(a) KPI  $\Delta T\%$ 

## Grouping Information Using the Fisher LSD Method and 95% Confidence

Factor	N	Mean	Grouping
Skenario 4	10	0.549900	A
Skenario 2	10	0.549260	A
Skenario 3	10	0.54905	A
Skenario 1	10	0.548320	A
Eksisting	10	0.54202	B

Means that do not share a letter are significantly different.

(b) KPI OTP Bandara

Gambar 12. Hasil Fisher's LSD

Dapat dilihat dari Gambar 12a, bahwa dari sisi  $\Delta T\%$ , Skenario 3 dan 4 secara statistik tidak berbeda dan keduanya unggul terhadap kondisi eksisting dan skenario lainnya. Selain itu, dari Gambar 12b, dapat disimpulkan bahwa dari sisi OTP bandara, semua skenario tidak berbeda signifikan secara statistik dan mendominasi kondisi eksisting. Dari penjelasan ini, dapat ditarik kesimpulan bahwa Skenario 3 dan 4 tampil sebagai skenario yang unggul baik dari sisi  $\Delta T\%$  maupun OTP. Dengan demikian, langkah selanjutnya adalah menentukan skenario mana yang akan dipilih antara Skenario 3 atau Skenario 4.

Pemilihan skenario terbaik antara kedua skenario ini dapat dilihat dari sisi biaya yang dikeluarkan. Dapat dilihat dari Tabel 4 bahwa Skenario 4 memiliki jumlah GSS teralokasi yang lebih banyak daripada Skenario 3. Akan tetapi, secara statistik, terbukti bahwa penambahan GSS sebanyak 50% dan 100% tidak menghasilkan perbedaan yang terlalu signifikan. Sehingga, memilih Skenario 3 sebagai skenario terbaik dinilai lebih bijak karena biaya yang dikeluarkan relatif lebih rendah daripada Skenario 4 dengan tingkat performansi yang kurang lebih sama.

## PENUTUP

Kegiatan aviasi sangat sensitif terhadap kejadian tak pasti yang sifatnya disruptif seperti kondisi cuaca. Aspek ini dapat mengganggu kelancaran kegiatan aviasi baik di udara maupun di darat (bandara). *Turnaround operations* di bandara menjadi salah satu aktivitas yang bergantung pada kondisi cuaca. Penelitian ini menggunakan DES untuk memodelkan aktivitas *turnaround operations* dengan mempertimbangkan aspek ketidakpastian cuaca.

Berdasarkan hasil dari model simulasi, didapatkan bahwa secara rata-rata *turnaround operations* memakan waktu 43.48% lebih lama dan 54.20% pesawat diberangkatkan tepat waktu. Analisis beban kerja telah dilakukan dan ditemukan bahwa terjadi ketidakseimbangan antara jumlah sumber daya GSS yang dialokasikan dengan jumlah pesawat yang perlu ditangani.

Eksperimentasi dilakukan untuk mencari skenario perbaikan yang terbaik dengan mempertimbangkan biaya terendah. Dari hasil eksperimentasi, diperoleh bahwa Skenario 3 dengan konfigurasi penerapan jadwal baru dan penambahan sumber daya GSS sebanyak 50% menjadi skenario terpilih untuk direkomendasikan. Skenario ini mampu meningkatkan kinerja bandara dengan menurunkan nilai  $\Delta T\%$  menjadi 33.35% dan meningkatkan OTP menjadi 54.91%.

Ada beberapa hal yang bisa dilakukan untuk mengembangkan dan menyempurnakan penelitian ini. Karena penelitian ini mengasumsikan bahwa tingkat curah hujan konstan sepanjang hari. Sehingga, untuk penelitian selanjutnya sangat disarankan untuk mempertimbangkan perubahan nilai curah hujan secara kontinu. Sehingga, pemodelan menggunakan sistem dinamis dapat dipertimbangkan sebagai model tambahan. Selain itu, disarankan pula untuk mempertimbangkan aspek cuaca lainnya seperti suhu, kecepatan angin, dan kelembabab dalam penelitian di masa depan, karena pada penelitian ini aspek cuaca yang dipertimbangkan hanya curah hujan.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didukung oleh Institut Teknologi Sepuluh Nopember melalui Hibah Penelitian Keilmuan dengan nomor 1740/PKS/ITS/2023.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Borsky, S., & Unterberger, C. (2019). Bad weather and flight delays: The impact of sudden and slow onset weather events. *Economics of Transportation*, 18, 10–26. <https://doi.org/10.1016/j.ecotra.2019.02.02>
- Chen, Z., & Wang, Y. (2019). Impacts of severe weather events on high-speed rail and aviation delays. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 69, 168–183. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.01.030>
- Dalmau, R., & Gawinowski, G. (2024). The effectiveness of supervised clustering for characterising flight diversions due to weather. *Expert Systems with Applications*, 237. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.121652>
- Harrell, C., Gosh, B. K. & Bowden, R. O. (2004). *Simulation Using Promodel*. 2nd ed. California: Mc. Graw Hill.
- Hestuningrum, H. A. P. L. (2018). *Manajemen Kendaraan Ground Handling di Terminal 1 Bandara Internasional Juanda*. (Tesis Magister). Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia.
- Hoover, S., & Perry, R. (1990). *Simulation: A Problem Solving Approach*. Massachusetts: Addison-Wesley.
- Jarošová, M., & Pajdlhauser, M. (2022). Aviation and Climate Change. *Transportation Research Procedia*, 65(C), 216–221. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.11.025>
- Kulesa, G. (2002). Weather and Aviation: How Does Weather Affect the Safety and Operations of Airports and Aviation, and How Does FAA Work to Manage Weather-related Effects? *The Potential Impacts of Climate Change on Transportation*.
- Lai, J., Che, L., & Kashef, R. (2021). Bottleneck Analysis in JFK Using Discrete Event Simulation: An Airport Queuing Model. *2021 IEEE International Smart Cities Conference, ISC2 2021*. <https://doi.org/10.1109/ISC253183.2021.9562823>
- Lui, G. N., Hon, K. K., & Liem, R. P. (2022). Weather impact quantification on airport arrival on-time performance through a Bayesian statistics modeling approach. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 143. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2022.103811>
- Malandri, C., Mantecchini, L., Paganelli, F., & Postorino, M. N. (2020). Impacts of unplanned aircraft diversions on airport ground operations. *Transportation Research Procedia*, 47, 537–544. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.03.12>

- Malighetti, P., Morlotti, C., Redondi, R., & Paleari, S. (2022). The turnaround tactic and on-time performance: Implications for airlines' efficiency. *Research in Transportation Business and Management*. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2022.100874>
- Mota, M. M., Boosten, G., de Bock, N., Jimenez, E., & de Sousa, J. P. (2017). Simulation-based turnaround evaluation for Lelystad Airport. *Journal of Air Transport Management*, 64, 21–32. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2017.06.021>
- Mota, M. M., Scala, P., Delahaye, D. (2017). Improving Airport Performance Through a Model-Based Analysis and Optimization Approach. Applied simulation and optimization 2: New applications in logistics, industrial and aeronautical practice. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-55810-3>
- de Oliveira, M., Eufrásio, A. B. R., Guterres, M. X., Murça, M. C. R., & Gomes, R. de A. (2021). Analysis of airport weather impact on on-time performance of arrival flights for the Brazilian domestic air transportation system. *Journal of Air Transport Management*, 91. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2020.101974>
- Qualley, W. L., (1997). *Impact of Weather on and use of Weather Information by Commercial Airline Operations*. Workshop on the Social and Economic Impacts of Weather. <https://sciencepolicy.colorado.edu/socasp/weather1/qualley.html>
- Rodríguez-Sanz, Á., Cano, J., & Rubio Fernández, B. (2022). Impact of weather conditions on airport arrival delay and throughput. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, 94(1), 60–78. <https://doi.org/10.1108/AEAT-12-2020-0318>
- San Antonio, A., Juan, A. A., Casas, P. F., Calvet, L., Guimaranas, D. (2017). Using Simulation to Estimate Critical Paths and Survival Functions in Aircraft Turnaround Processes. *Proceedings of the 2018 Winter Simulation Conference*.
- Wignall, A. (2022). *How it works: the aircraft turnaround*. <https://www.aerotime.aero/articles/32767-how-it-works-the-aircraft-turnaround>
- Wu, C. L., & Caves, R. E. (2004). Modelling and optimization of aircraft turnaround time at an airport. *Transportation Planning and Technology*, 27(1), 47–66. <https://doi.org/10.1080/0308106042000184454>
- Wu, C. L., & Caves, R. E. (2004). Modelling and simulation of aircraft turnaround operations at airports. *Transportation Planning and Technology*, 27(1), 25–46. <https://doi.org/10.1080/0308106042000184445>
- Yan, S., & Chen, Y. C. (2021). Flight rescheduling, fleet rerouting and passenger reassignment for typhoon disruption events. *Transportation Letters*. <https://doi.org/10.1080/19427867.2021.1950266>
- Zhou, L., & Chen, Z. (2020). Measuring the performance of airport resilience to severe weather events. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 83. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102362>