

**ANALISIS ANGIN SILANG DAN ANGIN BELAKANG UNTUK OPERASI
PENERBANGAN DI BANDARA YIA BERDASARKAN DATA DAYA NASA**

**AN ANALYSIS OF CROSSWIND AND TAILWIND FOR FLIGHT OPERATIONS AT
YIA AIRPORT BASED ON NASA POWER DATA**

Muhammad Fakhriy Rafsanjani*, Departemen Pendidikan Fisika, Universitas Negeri
Yogyakarta, Indonesia

Nur Kadarisman, Departemen Pendidikan Fisika, Universitas Negeri Yogyakarta, Indonesia

*e-mail: muhammadfakhriy.2021@student.uny.ac.id

Abstrak. Analisis *crosswind* dan *tailwind* di Bandara YIA (Yogyakarta International Airport) menggunakan data NASA POWER bertujuan untuk mengklasifikasikan persentase kejadian angin, menentukan jenis pesawat yang layak beroperasi, dan mengevaluasi kemungkinan penambahan jam operasional. Data arah dan kecepatan angin (Maret 2020–Desember 2024) diolah menggunakan metode perhitungan komponen angin serta diklasifikasikan dalam beberapa kelas kecepatan angin berdasarkan skala Beaufort. Analisis mencakup persentase kejadian *tailwind* dan *crosswind* terhadap ambang batas operasional pesawat serta pola tren siang-malam untuk mempertimbangkan penambahan jam operasional. Hasil analisis menunjukkan bahwa *tailwind* dominan pada 7–11 knot dan *crosswind* pada 1–7 knot. *Runway 11* mengalami *tailwind* 11,49% dan *right-crosswind* 42%, sedangkan *Runway 29* mengalami *tailwind* 43,83% dan *left-crosswind* 42%. Toleransi terhadap angin bervariasi, *Tailwind* aman hingga 10 knot, tetapi di atas 15 knot tidak layak terbang. *Crosswind* membatasi pesawat kecil di atas 12 knot, sementara pesawat besar masih beroperasi hingga 33 knot. Di atas 38 knot, seluruh pesawat tidak layak terbang. Penambahan jam operasional malam hari dapat dipertimbangkan kecuali bagi pesawat dengan toleransi angin rendah.

Kata Kunci: *Angin, Batas Operasional Pesawat, Crosswind, Headwind, Tailwind*

Abstract. The analysis of *crosswind* and *tailwind* at Yogyakarta International Airport (YIA) using NASA POWER data aims to classify the percentage of wind occurrences, determine the types of aircraft suitable for operation, and evaluate the possibility of extending operational hours. Wind direction and speed data (March 2020–December 2024) are processed using wind component calculation methods and classified into several wind speed categories based on the Beaufort scale. The analysis includes the percentage of *tailwind* and *crosswind* occurrences relative to aircraft operational thresholds, as well as day-night trend patterns to assess the feasibility of extending operational hours. The results indicate that *tailwind* is dominant at 7–11 knots, while *crosswind* is prevalent at 1–7 knots. *Runway 11* experiences *tailwind* at 11.49% and *right-crosswind* at 42%, whereas *Runway 29* records *tailwind* at 43.83% and *left-crosswind* at 42%. Wind tolerance varies: *tailwind* is safe up to 10 knots but unsuitable for flight above 15 knots. *Crosswind* limits small aircraft above 12 knots, while larger aircraft can operate up to 33 knots. Above 38 knots, all aircraft are deemed unfit for flight. Extending operational hours at night can be considered, except for aircraft with low wind tolerance.

Keywords: *Aircraft Operational Limits, Crosswind, Headwind, Tailwind, Wind*

PENDAHULUAN

Cuaca merupakan faktor utama yang mempengaruhi keselamatan penerbangan, terutama saat lepas landas dan pendaratan. Salah satu elemen cuaca yang berpengaruh adalah angin, yang dapat memberikan dampak signifikan terhadap keputusan pilot (Rinaldy dkk., 2017). Komponen angin yang perlu diperhitungkan dalam operasional penerbangan meliputi *headwind* (angin dari depan), *tailwind* (angin dari belakang), dan *crosswind* (angin dari samping) (Isnour & Maulita Aristya Firmantari, 2023). Di antara ketiga komponen tersebut, *tailwind* dan *crosswind* memiliki potensi risiko lebih tinggi, terutama pada fase kritis penerbangan (Perdana & Putra, 2017). *Crosswind* dengan kecepatan tinggi dapat mengganggu stabilitas pesawat selama pendaratan, sedangkan *tailwind* dapat memperpanjang jarak pengereman dan meningkatkan risiko overshoot landasan (Castilho dkk., 2018). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa kondisi angin yang tidak aman dapat menyebabkan pembatalan pendaratan dan meningkatkan kemungkinan kecelakaan penerbangan (Nurhalima dkk., 2023). Fenomena ini perlu diperhatikan terutama pada bandara yang berada di wilayah pesisir, di mana arah dan kecepatan angin cenderung lebih bervariasi (Tambunan dkk., 2023). Bandara Internasional Yogyakarta (YIA) merupakan bandara yang berlokasi dekat dengan Samudera Hindia, sehingga sangat dipengaruhi oleh pola angin dari arah laut. Karakteristik angin di sekitar YIA berpotensi menciptakan kondisi *crosswind* dan *tailwind* yang menantang bagi penerbangan (Fatkhuroyan & Wijayanto, 2020). Oleh karena itu, diperlukan analisis komprehensif untuk memahami pola angin di bandara ini guna meningkatkan keselamatan operasional penerbangan. Sebagai sumber data yang andal, NASA POWER menyediakan data meteorologi yang dapat digunakan untuk analisis pola dan tren angin jangka panjang (Sparks, 2018).

Berdasarkan latar belakang di atas, tujuan penelitian ini adalah menganalisis kecepatan dan arah angin untuk menentukan klasifikasi persentase kejadian *crosswind* dan *tailwind* di landasan pacu Bandara YIA, mengklasifikasikan jenis pesawat yang layak beroperasi berdasarkan kecepatan *crosswind* dan *tailwind*, serta mengevaluasi kemungkinan penambahan jam operasional siang dan malam di Bandara YIA dengan mempertimbangkan hasil analisis kecepatan dan arah *crosswind* serta *tailwind*.

METODE

Penelitian ini menggunakan data angin sekunder dari NASA POWER. Data ini dikumpulkan secara real-time per jam yang diperoleh dari dua lokasi, yaitu *Runway 29* (7,910205° LS, 110,070605° BT) dan *Runway 11* (7,900463° LS, 110,043831° BT), selama periode 29 Maret 2020 hingga 31 Desember 2024. Data yang diunduh dalam format CSV mencakup parameter kecepatan dan arah angin pada ketinggian 10 meter untuk analisis lebih lanjut.

Analisis mencakup perhitungan komponen angin, persentase kejadian *tailwind* dan *crosswind* terhadap ambang batas operasional pesawat, serta pola tren siang-malam untuk mempertimbangkan penambahan jam operasional. Penghitungan komponen angin merupakan cara untuk menentukan komponen angin (*headwind*, *tailwind*, dan *crosswind*) yang dihasilkan dari arah dan kecepatan angin di permukaan landasan pacu. Data angin yang sudah didapatkan dihitung menggunakan rumus trigonometri berdasarkan hasil pertemuan *Aerodrome Meteorological Observation and Forecast Study Group* (AMOFSG) yang dirilis oleh Hord (2013) dalam persamaan berikut.

$$\begin{aligned} \text{Headwind/Tailwind} &= ff \times \cos(RW - WD) \\ \text{Crosswind} &= ff \times \sin(RW - WD) \end{aligned}$$

dengan:

ff : Kecepatan angin (knot)
 RW : Arah landasan ($^{\circ}$)
 WD : Arah angin ($^{\circ}$)

Dalam penentuan *headwind.tailwind*, jika nilai yang dihasilkan positif maka komponen angin adalah *headwind*, dan sebaliknya berarti *tailwind*. Kemudian dalam penentuan *crosswind* jika nilai yang dihasilkan positif maka komponen angin merupakan *crosswind* dari arah kanan pesawat, dan sebaliknya berarti *crosswind* dari arah kiri pesawat.

Bandara YIA menetapkan orientasi landasan pacu pada azimuth 110 dan 290 derajat atau dapat disebut *runway 29* dan *runway 11*. Penelitian ini akan fokus menggunakan dua titik *runway*.



Gambar 1. Landasan pacu (*Runway*) Bandara YIA

Sebagai simulasi perhitungan, jika pesawat akan mendarat menggunakan *runway 29* dengan keadaan angin bertiup dari arah 180° dan kecepatan 10 knot, Berdasarkan rumus perhitungan komponen angin, maka dapat dilakukan perhitungan:

$$\begin{aligned} \text{Headwind/Tailwind} &: 10 \times \cos(290 - 180) = -3,42 \text{ knot} \\ \text{Crosswind} &: 10 \times \sin(290 - 180) = 9,39 \text{ knot} \end{aligned}$$

Dari perhitungan tersebut dapat dijelaskan bahwa terdapat komponen *tailwind* sebesar 3.42 knot karena bernilai negatif dan terdapat *right-crosswind* sebesar 9.39 knot, yang menunjukkan angin samping dari kanan pesawat.

Klasifikasi dan analisis angin dilakukan dengan mengategorikan data ke dalam empat jenis utama, yaitu *headwind* yang menguntungkan, *tailwind* yang dapat meningkatkan ground speed, serta *right-crosswind* dan *left-crosswind* yang memerlukan manuver khusus dalam pendaratan dan lepas landas. Analisis persentase kejadian dilakukan dengan mempertimbangkan beberapa aspek, seperti kecepatan angin yang diklasifikasikan berdasarkan skala Beaufort, serta evaluasi ambang batas kecepatan pesawat untuk menilai operasional pesawat. Selain itu, analisis time series terhadap data historis *crosswind* dan *tailwind* per jam dilakukan untuk mengidentifikasi tren harian serta dampaknya terhadap jam operasional di Bandara YIA.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Persentase Komponen Angin

Berdasarkan perhitungan arah dan kecepatan angin menggunakan rumus yang telah dijelaskan sebelumnya, diperoleh komponen angin yang kemudian disajikan dalam bentuk persentase kejadian secara keseluruhan untuk *runway* 11.



Gambar 2. Visualisasi persentase jenis angin di *Runway* 11

Berdasarkan Gambar 2 dari *runway* 11, *Right crosswind* merupakan angin yang paling dominan terjadi di wilayah Bandara YIA, dengan persentase sebesar 42,00%. Kondisi ini diikuti oleh komponen *Headwind* yang juga cukup signifikan sebesar 43,83%. Komponen *left crosswind* sebesar 2,67% dan *Tailwind* memiliki persentase terendah yaitu 11,49%. Selanjutnya komponen angin disajikan dalam bentuk persentase bulanan.

Tabel 1. Persentase jenis angin setiap bulan *Runway* 11

Bulan	Jumlah Data	Jenis angin			
		HW	TW	RC	LC
JAN	2976	3,83%	29,57%	64,11%	2,49%
FEB	2712	3,87%	48,12%	41,56%	6,45%
MAR	3048	14,44%	26,94%	55,68%	2,95%
APR	3600	46,53%	5,47%	43,00%	5,00%
MEI	3720	74,06%	2,12%	19,49%	4,33%
JUN	3600	76,50%	0,08%	20,33%	3,08%
JUL	3720	88,39%	0,00%	10,24%	1,37%
AGU	3720	79,09%	0,00%	20,59%	0,32%
SEP	3600	66,47%	0,00%	33,36%	0,17%
OKT	3720	39,97%	0,43%	59,27%	0,32%
NOV	3600	26,75%	2,17%	68,17%	2,92%
DES	3720	6,10%	23,04%	68,17%	2,69%

Persentase arah dan kecepatan angin di *Runway* 11 Bandara YIA bervariasi setiap bulan. *Headwind* (HW) tertinggi terjadi pada Juni-Agustus, dengan puncak 88,39%. di Juli, memberikan kondisi optimal untuk pendaratan. *Tailwind* (TW) memiliki tren berlawanan, tertinggi pada Januari-Maret, dengan puncak 48,12% di Februari, yang berpotensi memengaruhi jarak lepas landas dan pendaratan.

Crosswind terbagi menjadi *Right Crosswind* (RC) dan *Left Crosswind* (LC). RC mendominasi sepanjang tahun dengan persentase tertinggi di Oktober (59,27%), November (68,17%), dan Desember (68,17%). LC menunjukkan tren lebih rendah sepanjang tahunnya, dengan puncak di Februari (6,45%) dan April (5,00%), kemudian menurun secara bertahap hingga mencapai titik terendah di September (0,17%).

Berdasarkan perhitungan arah dan kecepatan angin menggunakan rumus yang telah dijelaskan sebelumnya, diperoleh komponen angin yang kemudian disajikan dalam bentuk persentase kejadian secara keseluruhan untuk *runway* 29.



Gambar 3. Visualisasi persentase jenis angin di *Runway* 29

Berdasarkan Gambar 3, *Left crosswind* merupakan angin yang paling dominan terjadi di *Runway* 29 Bandara YIA, dengan persentase sebesar 42,00%. Kondisi ini diikuti oleh komponen *tailwind* yang juga cukup signifikan sebesar 43,83%. Komponen *right crosswind* sebesar 2,67% dan *Headwind* memiliki persentase 11,49%. Selanjutnya komponen angin disajikan dalam bentuk persentase bulanan.

Tabel 2. Persentase jenis angin setiap bulan *Runway* 29

Bulan	Jumlah Data	Jenis angin			
		HW	TW	LC	RC
JAN	2976	29,57%	3,83%	64,11%	2,49%
FEB	2712	48,12%	3,87%	41,56%	6,45%
MAR	3048	26,94%	14,44%	55,68%	2,95%
APR	3600	5,47%	46,53%	43,00%	5,00%
MEI	3720	2,12%	74,06%	19,49%	4,33%
JUN	3600	0,08%	76,50%	20,33%	3,08%
JUL	3720	0,00%	88,39%	10,24%	1,37%
AGU	3720	0,00%	79,09%	20,59%	0,32%
SEP	3600	0,00%	66,47%	33,36%	0,17%
OKT	3720	0,43%	39,97%	59,27%	0,32%
NOV	3600	2,17%	26,75%	68,17%	2,92%
DES	3720	23,04%	6,10%	68,17%	2,69%

Persentase arah dan kecepatan angin di *Runway* 29 Bandara YIA bervariasi setiap bulan. *Headwind* (HW) tertinggi pada bulan Januari-Maret dan Desember, dengan puncaknya terjadi pada bulan Februari sebesar 48,12%. *Tailwind* (TW) menunjukkan tren berlawanan, tertinggi pada Juni-Agustus, puncaknya di bulan Juli sebesar 88,39% yang berpotensi memengaruhi jarak lepas landas dan pendaratan.

Crosswind didominasi oleh *Left Crosswind* (LC) mendominasi sepanjang tahun dengan persentasi tertinggi pada bulan Oktober (59,27%) dan November-Desember (68,17%). Sementara itu, *right crosswind* (RC) lebih dominan terjadi pada bulan Februari (6,45%) dan April (5,00%).

Analisis Frekuensi Kejadian *Tailwind*, dan *Crosswind* Berdasarkan Kecepatan Angin

Analisis frekuensi kejadian *tailwind*, dan *crosswind* berdasarkan kecepatan angin digunakan untuk menggambarkan kecepatan angin yang paling dominan di setiap jenis angin. Masing-masing jenis angin diklasifikasikan ke dalam lima kelas berdasarkan skala beaufort. Analisis ini menggunakan dua *Runway*, yaitu *Runway 29* dan 11.

Tabel 3. Persentase *Tailwind* di *Runway 11*

Bulan	<i>Tailwind Runway 11 (Knot)</i>					
	0-1	1-4	4-7	7-11	11-17	>17
JAN	0,34%	7,95%	22,95%	57,05%	11,70%	0,00%
FEB	0,15%	2,61%	28,66%	55,02%	13,56%	0,00%
MAR	0,12%	13,76%	42,02%	34,23%	9,87%	0,00%
APR	3,55%	32,49%	26,40%	32,99%	4,57%	0,00%
MEI	5,06%	40,51%	44,30%	10,13%	0,00%	0,00%
JUN	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
JUL	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
AGU	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
SEP	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
OKT	6,25%	12,50%	37,50%	43,75%	0,00%	0,00%
NOV	1,28%	24,36%	23,08%	26,92%	24,36%	0,00%
DES	0,70%	5,25%	29,29%	40,72%	24,04%	0,00%
Rata-rata	9,79%	11,62%	21,18%	25,07%	7,34%	0,00%

Berdasarkan tabel 5, *tailwind* di *Runway 11* paling dominan berada pada rentang 7-11 knot, dengan persentase tertinggi di hampir semua bulan. Selain itu, rentang 4-7 knot juga memiliki persentase yang cukup besar di beberapa bulan tertentu. Secara umum, rentang kecepatan *tailwind* yang paling sering terjadi adalah 4-11 knot, dengan puncaknya lebih banyak di 7-11 knot, sementara *tailwind* di atas 11 knot lebih jarang terjadi, dan di atas 17 knot hampir tidak pernah terjadi.

Tabel 4. Persentase *tailwind* di *Runway 29*

Bulan	<i>Tailwind Runway 29 (Knot)</i>					
	0-1	1-4	4-7	7-11	11-17	>17
JAN	1,75%	52,63%	35,96%	9,65%	0,00%	0,00%
FEB	0,95%	40,00%	44,76%	14,29%	0,00%	0,00%
MAR	0,68%	19,09%	43,64%	36,14%	0,45%	0,00%
APR	0,48%	6,99%	30,39%	53,13%	9,01%	0,00%
MEI	0,29%	4,43%	17,42%	64,86%	12,99%	0,00%
JUN	0,11%	5,05%	18,55%	57,37%	18,92%	0,00%
JUL	0,00%	0,27%	6,51%	73,11%	20,10%	0,00%
AGU	0,00%	0,31%	9,25%	73,52%	16,93%	0,00%
SEP	0,04%	1,00%	9,36%	79,77%	9,82%	0,00%
OKT	0,07%	4,03%	31,81%	59,72%	4,37%	0,00%
NOV	1,04%	12,15%	36,14%	48,91%	1,77%	0,00%
DES	2,64%	33,48%	30,84%	31,72%	1,32%	0,00%
Rata-rata	0,67%	14,95%	26,22%	50,18%	7,97%	0,00%

Berdasarkan tabel 4, *tailwind* di *Runway 29* paling dominan berada pada rentang 7-11 knot, dengan persentase tertinggi di hampir semua bulan. Selain itu, rentang 4-7 knot juga memiliki persentase yang cukup besar di beberapa bulan tertentu. Secara umum, rentang kecepatan *tailwind* yang paling sering terjadi adalah 4-11 knot, dengan puncaknya lebih banyak di 7-11 knot, sementara *tailwind* di atas 11 knot lebih jarang terjadi, dan di atas 17 knot hampir tidak pernah terjadi.

Dalam perhitungan *crosswind*, *Runway 29* lebih didominasi oleh *left crosswind*, sedangkan *Runway 11* didominasi oleh *right crosswind*. Oleh karena itu, selanjutnya akan dibahas kecepatan angin dominan pada *left crosswind* di *Runway 29* dan *right crosswind* di *Runway 11*.

Tabel 5. Persentase *Right Crosswind* di *Runway 11*

Bulan	RC – <i>Right Crosswind Runway 11</i> (Knot)					
	0-1	1-4	4-7	7-11	11-17	>17
JAN	0,52%	28,51%	59,43%	10,95%	0,58%	0,00%
FEB	0,62%	37,36%	55,10%	6,92%	0,00%	0,00%
MAR	1,06%	44,02%	48,91%	6,01%	0,00%	0,00%
APR	2,13%	42,38%	45,93%	8,85%	0,71%	0,00%
MEI	2,90%	34,62%	56,28%	6,07%	0,14%	0,00%
JUN	1,64%	30,33%	60,38%	7,65%	0,00%	0,00%
JUL	0,00%	6,56%	88,45%	4,99%	0,00%	0,00%
AGU	0,00%	6,14%	85,38%	8,49%	0,00%	0,00%
SEP	0,08%	8,33%	79,93%	11,66%	0,00%	0,00%
OKT	0,05%	9,71%	69,75%	20,27%	0,23%	0,00%
NOV	0,81%	28,28%	54,77%	15,57%	0,57%	0,00%
DES	0,59%	29,93%	59,62%	9,74%	0,12%	0,00%
Rata-rata	0,87%	25,51%	63,66%	9,76%	0,20%	0,00%

Berdasarkan tabel 5, *right crosswind* (RC) di *Runway 11* paling dominan berada pada rentang 4-7 knot, dengan persentase tertinggi di hampir semua bulan. Selain itu, rentang 1-4 knot juga memiliki persentase yang cukup besar di beberapa bulan tertentu. Secara umum, rentang kecepatan *right crosswind* yang paling sering terjadi adalah 1-7 knot, dengan puncaknya lebih banyak di 4-7 knot. Sementara itu, *right crosswind* di atas 11 knot lebih jarang terjadi, dan di atas 17 knot hampir tidak pernah terjadi.

Tabel 6. Persentase *left crosswind* di *Runway 29*

Bulan	LC – <i>Left Crosswind Runway 29</i> (Knot)					
	0-1	1-4	4-7	7-11	11-17	>17
JAN	0,52%	28,51%	59,43%	10,95%	0,58%	0,00%
FEB	0,62%	37,36%	55,10%	6,92%	0,00%	0,00%
MAR	1,06%	44,02%	48,91%	6,01%	0,00%	0,00%
APR	2,13%	42,38%	45,93%	8,85%	0,71%	0,00%
MEI	2,90%	34,62%	56,28%	6,07%	0,14%	0,00%
JUN	1,64%	30,33%	60,38%	7,65%	0,00%	0,00%
JUL	0,00%	6,56%	88,45%	4,99%	0,00%	0,00%
AGU	0,00%	6,14%	85,38%	8,49%	0,00%	0,00%
SEP	0,08%	8,33%	79,93%	11,66%	0,00%	0,00%
OKT	0,05%	9,71%	69,75%	20,27%	0,23%	0,00%
NOV	0,81%	28,28%	54,77%	15,57%	0,57%	0,00%
DES	0,59%	29,93%	59,62%	9,74%	0,12%	0,00%
Rata-rata	0,87%	25,51%	63,66%	9,76%	0,20%	0,00%

Berdasarkan tabel 6, *left crosswind* (RC) di *Runway* 29 paling dominan berada pada rentang 4-7 knot, dengan persentase tertinggi di hampir semua bulan. Selain itu, rentang 1-4 knot juga memiliki persentase yang cukup besar di beberapa bulan tertentu. Secara umum, rentang kecepatan *right crosswind* yang paling sering terjadi adalah 1-7 knot, dengan puncaknya lebih banyak di 4-7 knot. Sementara itu, *right crosswind* di atas 11 knot lebih jarang terjadi, dan di atas 17 knot hampir tidak pernah terjadi.

Tabel 5 dan 6 menunjukkan bahwa pola dominasi *crosswind* di masing-masing *runway* berkaitan dengan orientasi arah landasan terhadap pola angin dominan di Bandara YIA. *Runway* 29 lebih sering mengalami *left crosswind* karena angin cenderung bertiup dari arah kiri terhadap pesawat yang mendarat atau lepas landas di landasan ini. Sebaliknya, *Runway* 11 lebih sering mengalami *right crosswind* karena arah angin dominan membuat hembusan angin datang dari sisi kanan pesawat pada landasan tersebut. Pola ini menunjukkan bahwa arah angin di bandara memiliki kecenderungan yang konsisten sepanjang tahun hanya saja terlihat berbeda karena orientasi *runway* yang digunakan pesawat untuk mendarat.

Analisis Persentase Kejadian *Tailwind*, dan *Crosswind* Berdasarkan Ambang Batas Kecepatan Pesawat

Analisis ini bertujuan untuk mengidentifikasi seberapa sering terjadi *Tailwind* dan *crosswind* yang melampaui ambang batas kecepatan yang ditentukan untuk masing-masing jenis pesawat. Tabel berikut ini menyajikan data kecepatan angin silang dan angin ekor maksimum yang diperbolehkan untuk berbagai jenis pesawat yang sering beroperasi di Indonesia. (Batas toleransi *crosswind* dan *Tailwind* berbagai jenis pesawat)

Tabel 7. Batas toleransi *crosswind* dan *Tailwind* berbagai jenis pesawat

Jenis Pesawat	Kapasitas Penumpang	Maximum <i>Crosswind</i> (Knot)	Maximum <i>Tailwind</i> (Knot)	Kategori Pesawat
Airbus				
Airbus A320	150	35	15	Besar
Airbus A320neo	194	35	15	Besar
Airbus A330-300	307	32	10	Besar
Boeing				
737-800	189	33	10-15	Besar
737-900	189	33	10-15	Besar
777-300	368	38	15	Besar
Cessna				
150	2	12	10	Kecil
208B	9	20	10	Kecil
560	8	20	10	Kecil
750	12	25	10	Kecil
ATR				
72-500	74	35	10	Sedang
72-600	74	35	10	Sedang
Comac				
ARJ21-700	95	27	10	Sedaneg
Piaggio				
P.180 Avanti II	9	25	10	Kecil
Pilatus				
PC-6 Porter	10	16	10	Kecil

Pada *Runway* 11, analisis dilakukan untuk mengetahui distribusi frekuensi kejadian *tailwind* dan *crosswind* yang melampaui ambang batas kecepatan setiap jenis pesawat. Berikut adalah hasil analisis *tailwind* berdasarkan pengamatan kondisi angin pada landasan pacu ini.

Tabel 8. Frekuensi kejadian *tailwind* di *Runway* 11

<i>Tailwind</i>	Frekuensi kejadian	Persentase	Jenis angin
≤ 10 knot	3248	76,37%	Tenang – sedang
10-15 knot	988	23,23%	Sedang – agak keras
> 15 knot	17	0,40%	Agak keras – Topan

Berdasarkan tabel 8 pada *Runway* 11, tercatat bahwa sebagian besar kejadian *tailwind* berada di bawah 10 knot dengan frekuensi 3248 kejadian (76,37%). Sementara itu, kejadian *Tailwind* di rentang 10-15 knot terjadi sebanyak 988 kali (23,23%), dan kejadian yang melebihi 15 knot hanya terjadi 17 kali (0,40%). Data ini menunjukkan bahwa kondisi *Tailwind* di *Runway* 11 didominasi oleh kecepatan angin yang relatif rendah (di bawah 10 knot), sementara kejadian *Tailwind* dengan kecepatan tinggi (di atas 15 knot) sangat jarang terjadi.

Tabel 9. Frekuensi kejadian *tailwind* di *Runway* 29

<i>Tailwind</i>	Frekuensi kejadian	Persentase	Jenis angin
≤ 10 knot	11765	80,30%	Tenang – sedang
10-15 knot	2859	19,51%	Sedang – agak keras
> 15 knot	28	0,19%	Agak keras – Topan

Berdasarkan Tabel 9 tercatat bahwa sebagian besar kejadian *tailwind* berada di bawah 10 knot dengan frekuensi 13.661 kejadian (71,35%). Sementara itu, kejadian *tailwind* pada rentang 10-15 knot terjadi sebanyak 5482 kejadian (28,63%), dan kejadian yang melebihi 15 knot hanya terjadi 3 kejadian (0,12%). Jika meninjau kejadian *tailwind* di *Runway* 11 pada Tabel 12, hal tersebut menunjukkan bahwa frekuensi kejadian *tailwind* di *Runway* 29 lebih banyak daripada kejadian *tailwind* di *Runway* 11. Pada *Runway* 29 terdapat 19143 total kejadian *tailwind* dan pada *Runway* 11 terdapat 4236 total kejadian *tailwind*. Hal ini mengindikasikan bahwa *Runway* 11 jauh lebih aman untuk melakukan pendaratan pesawat jika tinjauannya dari frekuensi *Tailwind*.

Tabel 10. Frekuensi kejadian *crosswind* di *Runway* 11

<i>Crosswind</i> (Knot)	Frekuensi Kejadian	Persentase (%)	Jenis Angin
≤12	17257	99,85	Tenang – Sedang
12-25	26	0,15	Agak keras - Kuat
26-35	0	0,00	Angin Kuat – Angin kencang
35-38	0	0,00	Angin Kencang
>38	0	0,00	Angin Kencang - Topan

Berdasarkan Tabel 10 tercatat bahwa sebagian besar kejadian *crosswind* berada di bawah 12 knot dengan frekuensi 17.257 kejadian (99,87%). Sementara itu, kejadian *crosswind* pada rentang 12-25 knot terjadi sebanyak 26 kali (0,15%), dan kejadian pada rentang >26 knot tidak terjadi. Data ini menunjukkan bahwa kondisi *crosswind* di *Runway* 29 didominasi oleh kecepatan angin yang relatif rendah, sementara kejadian *crosswind* dengan kecepatan tinggi sangat jarang terjadi.

Tabel 11. Frekuensi kejadian *crosswind* di *Runway 11*

<i>Crosswind</i> (Knot)	Frekuensi Kejadian	Persentase (%)	Jenis Angin
≤12	17257	99,85	Tenang – Sedang
12-25	244	0,15	Agak keras - Kuat
26-35	0	0,00	Angin Kuat – Angin kencang
35-38	0	0,00	Angin Kencang
>38	0	0,00	Angin Kencang - Topan

Berdasarkan Tabel 11 tercatat bahwa sebagian besar kejadian *crosswind* berada di bawah 12 knot dengan frekuensi 17.257 kejadian (99,85%). Sementara itu, kejadian *crosswind* pada rentang 12-25 knot terjadi sebanyak 26 kali (0,15%), dan kejadian dalam rentang lebih dari 26 knot tidak terjadi kejadian *crosswind*. Data ini menunjukkan bahwa kondisi *crosswind* di *Runway 29* didominasi oleh kecepatan angin yang relatif rendah (di bawah 12 knot), sementara kejadian *crosswind* dengan kecepatan tinggi sangat jarang terjadi.

Selanjutnya, berdasarkan klasifikasi kecepatan *tailwind* dan *crosswind* dengan skala Beaufort dan analisis persentase kejadian *tailwind*, dan *crosswind* berdasarkan ambang batas kecepatan pesawat di kedua *Runway*, dapat diidentifikasi kelayakan operasional berbagai jenis pesawat terhadap kondisi *tailwind* dan *crosswind*.

Tabel 12. Jenis pesawat yang layak beroperasi berdasarkan kecepatan *tailwind*

Rentang kecepatan <i>tailwind</i> (Knot)	Jenis pesawat yang layak beroperasi
0-10 (Tenang - Sedang)	Semua jenis pesawat
10-15 (Sedang – Agak keras)	Airbus A320, Boeing 737-800, Boeing 737-900, Airbus A320neo, Airbus A330-300, Boeing 777-300.
15-17 (Agak keras)	-
>17 (Keras-Topan)	-

Tabel 12 menunjukkan bahwa pada kondisi *tailwind* tenang hingga sedang (0-10 knot), semua jenis pesawat baik komersial besar maupun kecil masih dapat beroperasi dengan aman. Namun, ketika kecepatan *tailwind* mencapai kategori sedang (11-15 knot), pesawat-pesawat kecil seperti Cessna dan pesawat regional ATR serta Comac dan Piaggio sudah tidak layak beroperasi. Pada kondisi angin yang lebih kencang dengan kecepatan *tailwind* 11 knot ke atas, hanya pesawat-pesawat komersial besar seperti Airbus dan Boeing yang masih dapat beroperasi, dengan batas maksimum sampai 15 knot. Di atas 15 knot, tidak ada jenis pesawat yang layak beroperasi karena resiko keselamatan yang tinggi.

Tabel 13 menunjukkan kemampuan berbagai pesawat dalam menghadapi kondisi *crosswind* pada berbagai rentang kecepatan. Seluruh jenis pesawat dapat beroperasi dengan baik pada *crosswind* tenang hingga lemah (0-11 knot). Pada 11-28 knot, beberapa pesawat kecil seperti Cessna (150, 208B, 560, 750), Comac ARJ21-700, Piaggio P.180, dan Pilatus PC-6 Porter tidak dapat beroperasi karena melebihi batas maksimal kecepatan *crosswind*. Rentang 28-33 knot hanya pesawat berbadan besar seperti Boeing dan Airbus serta satu jenis pesawat berbadan kecil yaitu ATR 72-500 dan 600. Pada 34-38 knot, praktis hanya Boeing 777-300

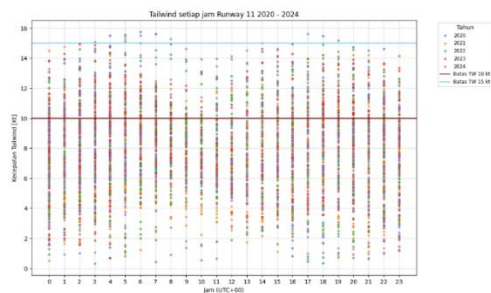
yang mampu beroperasi, sementara di atas 38 knot, seluruh pesawat tidak dapat terbang karena kondisi yang sangat berbahaya

Tabel 13. Jenis pesawat yang layak beroperasi berdasarkan kecepatan *crosswind*

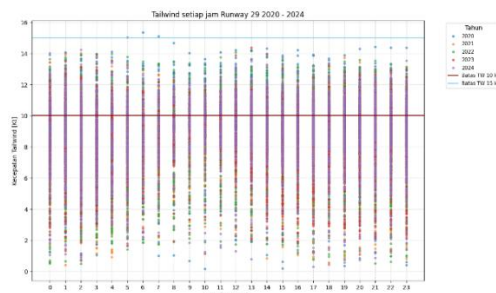
Rentang kecepatan <i>crosswind</i> (Knot)	Jenis pesawat yang layak beroperasi
0-12 (Tenang-Sedang)	Semua jenis pesawat
12-25 (Agak keras – Kuat)	Semua jenis pesawat, kecuali Cessna (150, 208B, 560, 750) dan Pilatus PC-6
26-35 (Angin Kuat – Angin kencang)	Hanya pesawat komersial (Comac ARJ21-700, ATR 72-500/600, Airbus A320/A320neo/A330-300, Boeing 737-800/900, Boeing 777-300)
35-38 (Angin Kencang)	Hanya pesawat Boeing 777-300
38> (Angin ribut - Topan)	-

Analisis Data Time Series Komponen Angin

Analisis time series dilakukan untuk mengidentifikasi pola dan tren selama periode siang dan malam hari serta mengevaluasi terkait dengan penambahan jam operasional di Bandara YIA.



Gambar 4. Distribusi *Tailwind* per jam Runway 11



Gambar 5. Distribusi *Tailwind* per jam Runway 29

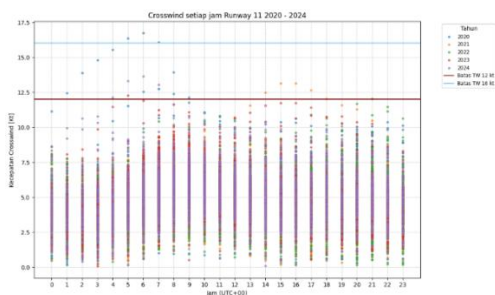
Gambar 4 dan 5 menunjukkan bahwa kecepatan *tailwind* di kedua *runway* sering melebihi 10 knot hampir sepanjang hari, dengan beberapa kasus mendekati atau melebihi 15 knot. Perbedaan batas toleransi antar jenis pesawat berpengaruh pada kemungkinan penambahan jam operasional. Pesawat besar dengan toleransi hingga 15 knot masih memungkinkan menambah jam operasional, terutama pada periode 12-23 UTC, karena kejadian *tailwind* di atas 15 knot jarang terjadi. Sebaliknya, pesawat kecil dan sedang dengan batas 10 knot menghadapi keterbatasan signifikan, karena *tailwind* sering melebihi batas tersebut. Oleh karena itu, penambahan jam operasional lebih layak untuk pesawat besar pada siang hingga malam hari, sedangkan pesawat kecil dan sedang sebaiknya tidak menambah jam operasional.

Tabel 14. Kelayakan penambahan jam operasional pesawat berdasarkan kondisi *tailwind*

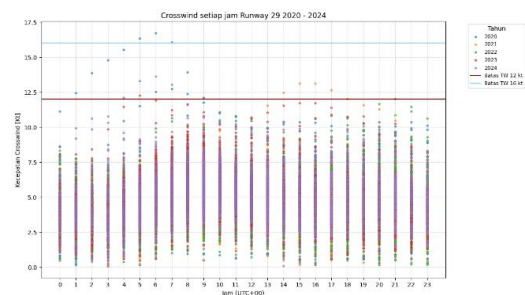
Jenis Pesawat	Kecepatan Maksimal <i>Tailwind</i> (Knot)	Kelayakan Penambahan Jam Operasional Pesawat Berdasarkan kondisi <i>Tailwind</i>	
		Siang (08:00-18:00 WIB)	Malam (19:00-06:00 WIB)
		Airbus	
A320	15	Layak	Layak
A320neo	15	Layak	Layak
A330-300	15	Layak	Layak
Boeing			
737-800	15	Layak	Layak
737-900	15	Layak	Layak
777-300	15	Layak	Layak
ATR			
72-500	10	Tidak Layak	Tidak Layak
72-600	10	Tidak Layak	Tidak Layak
Cessna			
150	10	Tidak Layak	Tidak Layak
208B	10	Tidak Layak	Tidak Layak
560	10	Tidak Layak	Tidak Layak
750	10	Tidak Layak	Tidak Layak
Comac			
ARJ21-700	10	Tidak Layak	Tidak Layak
Piaggio			
P.180 Avanti II	10	Tidak Layak	Tidak Layak
Pilatus			
PC-6 Porter	10	Tidak Layak	Tidak Layak

Berdasarkan tabel 14, pesawat Airbus dan Boeing layak menambah jam operasional siang dan malam, meskipun ada kejadian *tailwind* >15 knot pada siang hari, tetapi jarang terjadi. Sementara itu, ATR 72-500, 72-600, Cessna 150, 208BB, 560, 750, dan Comac ARJ21-700 tidak layak beroperasi baik siang maupun malam karena *tailwind* tidak memenuhi standar keamanan. Rekomendasi: Penambahan jam operasional lebih aman untuk pesawat dengan batas 10-15 knot pada 19:00-06:00 WIB, sedangkan 11:00-14:00 WIB sebaiknya dihindari karena risiko *tailwind* >15 knot yang berbahaya saat pendaratan.

Hasil perhitungan *crosswind* pada Runway 11 dan 29 dilakukan analisis time series per jam dari 2020 – 2024. Hasil analisis didapatkan sebagai berikut.



Gambar 6. Distribusi *crosswind* per jam Runway 11



Gambar 7. Distribusi *crosswind* per jam Runway 29

Berdasarkan Gambar 6 dan 7 menunjukkan pola *crosswind* yang relatif konsisten. Pada *Runway 11*, kecepatan *crosswind* umumnya di bawah 10 knot sepanjang hari, dengan hanya beberapa kejadian di atas 12 knot. *Runway 29* memiliki pola serupa, tetapi terdapat beberapa kasus di atas 16 knot pada jam 5-8 UTC. Kedua periode waktu dapat dipertimbangkan untuk penambahan jam operasional, dengan periode 12-23 UTC lebih disukai karena lebih stabil dan memiliki lebih sedikit kejadian *crosswind* tinggi, terutama di *Runway 29*. Secara keseluruhan, kondisi *crosswind* di kedua *runway* sebagian besar aman, dengan mayoritas nilai jauh di bawah batas kritis 16 knot.

Tabel 15. Kelayakan penambahan jam operasional pesawat berdasarkan kondisi *crosswind*

Jenis Pesawat	Kecepatan Maksimal <i>Crosswind</i> (Knot)	Kelayakan Penambahan Jam Operasional Pesawat Berdasarkan kondisi <i>Crosswind</i>	
		Siang (08:00-18:00 WIB)	Malam (19:00-06:00 WIB)
Airbus			
A320	35	Layak	Layak
A320neo	35	Layak	Layak
A330-300	32	Layak	Layak
ATR			
72-500	35	Layak	Layak
72-600	35	Layak	Layak
Boeing			
737-800	33	Layak	Layak
737-900	33	Layak	Layak
777-300	38	Layak	Layak
Comac			
ARJ21-700	27	Layak	Layak
Piaggio			
P.180 Avanti II	25	Layak	Layak
Cessna			
208B	20	Layak	Layak
560	20	Layak	Layak
750	25	Layak	Layak
150	12	Tidak Layak	Tidak Layak
Pilatus			
PC-6 Porter	16	Tidak Layak	Tidak Layak

Sebagian besar pesawat, termasuk Airbus, Boeing, ATR, dan beberapa model Cessna, layak menambah jam operasional siang (08:00-18:00 WIB) dan malam (19:00-06:00 WIB) berdasarkan kondisi *crosswind*. Namun, Comac ARJ21-700 dan Pilatus PC-6 Porter tidak layak karena batas toleransi *crosswind* yang rendah. Rekomendasi terbaik adalah menambah jam operasional pada malam hari untuk pesawat dengan toleransi >25 knot, dengan tetap mempertimbangkan risiko *tailwind*.

Meskipun secara umum pesawat kecil dan sedang masih aman untuk beroperasi dalam kondisi *crosswind* di Bandara YIA, perlu diperhatikan bahwa aspek *tailwind* juga memiliki peran krusial dalam menentukan kelayakan penerbangan. Sebuah pesawat mungkin masih memenuhi batas aman dari segi kecepatan *crosswind*, tetapi jika kecepatan *tailwind* sudah melebihi ambang batas yang diperbolehkan, maka operasionalnya tetap tidak layak. Sebagai contoh, beberapa pesawat sedang seperti ATR (72-500, 72-600), Comac, dan Piaggio masih

dapat beroperasi dalam *crosswind*, namun jika *tailwind* sudah mencapai atau melebihi 11 knot, maka mereka tidak dapat beroperasi dengan aman. Maka, yang paling aman beroperasi di Bandar YIA hanya pesawat yang berbadan besar.

SIMPULAN

Hasil analisis menunjukkan bahwa di Bandara YIA, *tailwind* paling sering terjadi pada 7–11 knot, sementara *crosswind* dominan pada 1–7 knot. *Runway* 11 mengalami *tailwind* 11,49% dari barat daya–barat laut dan *right-crosswind* 42% dari tenggara–selatan. *Runway* 29 lebih sering mengalami *tailwind* (43,83%) serta *left-crosswind* (42%) dari arah yang sama. Berdasarkan klasifikasi jenis pesawat, toleransi terhadap kecepatan angin bervariasi. *Tailwind* aman hingga 10 knot, tetapi di atas 15 knot tidak layak terbang. *Crosswind* membatasi pesawat kecil di atas 12 knot, sementara pesawat besar masih beroperasi hingga 33 knot. Di atas 38 knot, seluruh pesawat tidak layak terbang. Penambahan jam operasional bisa dipertimbangkan pada malam hari, kecuali bagi pesawat dengan toleransi angin rendah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam kelancaran penelitian ini, baik secara langsung maupun tidak langsung. Setiap dukungan, bantuan, dan doa yang diberikan memiliki makna yang tak ternilai, meskipun nama-nama tidak dapat disebutkan satu per satu.

DAFTAR PUSTAKA

- Castilho, D. S., Urbina, L. M. S., & de Andrade, D. (2018). STPA for continuous controls: A flight testing study of aircraft *crosswind* takeoffs. *Safety science*, 108, 129–139.
- Fatkhuroyan, F., & Wijayanto, B. (2020). Identifikasi Angin Silang (Cross Wind) di Sekitar New Yogyakarta International Airport Memakai Plot Wind Rose. *Prosiding SNFA (Seminar Nasional Fisika dan Aplikasinya)*, 5.
- Hord, C. (2013). The Provision of *crosswind* and *tailwind* information. *International Civil Aviation Organization*, <https://www.icao.int/safety/meteorology/amofsg/AMOFSG%20Meeting%20Material/AMOFSG>, 10.
- Isnoor, K. F. N., & Maulita Aristya Firmantari. (2023). ANALISIS PERSENTASE KOMPONEN ANGIN PADA LANDASAN PACU BANDARA INTERNASIONAL RAJA HAJI FISABILILLAH TANJUNGPINANG. *Buletin Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika*, 3(5), 1–9. https://www.balai2bmgk.id/index.php/buletin_mkg/article/view/68
- Nurhalima, N., Sukarasa, I. K., & Sumaja, K. (2023). Pengaruh Suhu Terhadap *Crosswind* dan *Tailwind* di Bandara I Gusti Ngurah Rai Dengan Metode Regresi. *Kappa Journal*, 7(1), 157–164.
- Perdana, Y. H., & Putra, I. D. G. A. (2017a). Kejadian *Crosswind* di Landasan Pacu Bandara Supadio Pontianak Tahun 2016. *Prosiding SIPTTEKGAN XXI-2017 Seminar Nasional Iptek Penerbangan & Antariksa XXI Tahun 2017*, 390–394.
- Rinaldy, N., Saragih, I. J. A., & Yonas, B. W. (2017a). Analisis Komponen Angin Permukaan di Landasan Pacu Bandara Douw Aturure-Nabire. *presented on Seminar Nasional Fisika dan Aplikasinya*.
- Sparks, A. H. (2018). nasapower: a NASA POWER global meteorology, surface solar energy and climatology data client for R. *Journal of Open Source Software*, 3(30), 1035.

- Tambunan, N. N., Frida, E., & Darmawan, Y. (2023). ANALYSIS OF ATMOSPHERIC DYNAMICS DURING *TAILWIND* PHENOMENA ON THE *RUNWAY* OF KUALANAMU AIRPORT. *Indonesian Physical Review*.
<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:259073419>
- Van Es, G. W. H., & Karwal, A. K. (2001). *Safety aspects of tailwind operations*.
- Van Es, G. W. H., van der Geest, P. J., & Nieuwpoort, A. M. H. (2001). *Safety aspects of aircraft operations in crosswind*.