

Kajian Potensi *Crosswind* dalam Pembangunan Bandara Internasional Yogyakarta Baru Guna Keselamatan Penerbangan

Study of Crosswind Potential in the Construction of the New Yogyakarta International Airport for Aviation Safety

Fatkhuroyan¹⁾, Bambang Wijayanto²⁾

Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Jl. Angkasa 1 No. 2 Kemayoran Jakarta 10720, Indonesia

Email: fatkhuroyan@bmkg.go.id¹ ; bbwijayanto@gmail.com²

INFO ARTIKEL

Histori Artikel:

Diterima: 25 Februari 2019

Direvisi: 29 April 2019

Disetujui: 29 Mei 2019

Dipublikasi Online: 28 Juni 2019

Keywords:

Crosswind, AWS, Knot

Kata kunci:

Crosswind, AWS, Knot

Permalink/DOI:

<https://dx.doi.org/10.25104/wa.v45i1.339.49-58>

©2019 Puslitbang Transportasi Udara, Badan Litbang Perhubungan-Kementerian Perhubungan RI. This is an open access article under the CC BYNC-SA license

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

ABSTRACT / ABSTRAK

Wind has important role in aviation safety. The aim of the research is to analyze monthly wind profile and crosswind potential in the area of New Yogyakarta International Airport. The method used by installing 4 (four) AWS (Automatic Weather Station) at the end and the middle of the runway during March to September 2017. The results show that the wind patterns in the March-May period have varying directions with an average speed of 5-8 knots. In June - September, the wind pattern blows from the East - Southeast direction with an average speed of 6-9 knots. The maximum wind speed occurred between 14-20 knots and no cross wind potential was found for the runway length of 3,600 meters.

Angin merupakan unsur cuaca yang sangat penting dalam keselamatan penerbangan. Penelitian ini bertujuan melakukan analisa profil angin bulanan dan potensi terjadinya *Crosswind* pada area *New Yogyakarta International Airport*. Metode yang dipakai dengan memasang 4 (empat) buah AWS (*Automatic Weather Station*) di ujung dan tengah landasan selama bulan Maret Hingga September 2017. Hasil pengamatan dan analisa menunjukkan bahwa pola angin pada periode Maret – Mei memiliki arah yang bervariasi dengan kecepatan rata-rata 5 – 8 knot. Pada Juni – September, pola angin berhembus dari arah Timur – Tenggara dengan kecepatan rata-rata 6 – 9 knot. Selama periode pengamatan, kecepatan angin maksimum yang terjadi antara 14 – 20 knot dan tidak ditemukan potensi terjadinya *cross wind* untuk panjang landasan 3.600 meter.

PENDAHULUAN

Peran cuaca dalam penerbangan sangat besar serta informasi cuaca mempunyai andil dalam peningkatan efisiensi dan efektivitas kegiatan dan keselamatan penerbangan (Page, 2010). selain itu cuaca mempunyai potensi yang membahayakan harta dan jiwa (Gerz, 2014). Namun demikian tidak mudah untuk mengatakan cuaca yang mana yang membahayakan, karena dampak cuaca bergantung pula kepada faktor lain.

Khususnya dalam penerbangan, selain kadar atau intensitas unsur cuaca, jenis pesawat, kondisi pesawat, dan posisi penerbangan juga faktor yang menentukan sensitifitasnya terhadap cuaca. Misalnya angin silang (*cross wind*) di landasan terbang yang berkecepatan 20 knot, mungkin dapat menimbulkan bahaya bagi pesawat kecil yang melakukan pendaratan, tetapi tidak ada pengaruhnya bagi pesawat besar dan modern (FAA, 2014).

Namun demikian, karena setiap pesawat terbang mempunyai tiga kegiatan yang sama, yakni lepas landas, terbang, dan mendarat, maka penggunaan arti bahaya dalam penerbangan umumnya diterapkan untuk masing-masing kegiatan tersebut (Fadholi, 2012).

Menurut ICAO (ICAO Annex 14, 2009), Komponen *cross wind* yang dapat menghalangi take-off dan landing pesawat udara pada umumnya yaitu ketika kecepatannya melebihi:

1. 37 km/jam (20 knot) untuk pesawat dengan ARFL (*Aeroplane Reference Field Length*) 1.500 m atau lebih, kecuali jika tindakan pengereman pada landasan pacu buruk (dikarenakan koefisien gesek longitudinal yang tidak mencukupi), maka komponen *cross wind* lebih dari 24 km/jam (13 knot) dapat menghalangi *takeoff* dan *landing* pesawat;
2. 24 km/jam (13 knot) untuk pesawat dengan ARFL (*Aeroplane Reference Field Length*) 1.200 m sampai <1.500 m;
3. 19 km/jam (10 knot) untuk pesawat dengan ARFL (*Aeroplane Reference Field Length*) < 1.200 m.

Tujuan penelitian ialah untuk mengidentifikasi potensi terjadinya *cross wind* pada area calon *New Yogyakarta International Airport*.

TINJAUAN PUSTAKA

Angin permukaan merupakan unsur meteorologi yang mudah sekali berubah baik arah maupun kecepatannya. Angin juga sangat berpengaruh terhadap operasi penerbangan. Kestabilan pesawat saat lepas landas dan mendarat dipengaruhi oleh angin dekat permukaan. Sehingga angin permukaan di bandar udara sangat diperhitungkan dalam melakukan pendaratan dan lepas landas pesawat terbang (Hahn, 1989).

Dalam pelaporan dan penyiarannya, angin permukaan yang dimaksud ialah angin pada ketinggian 10 (sepuluh) meter dari permukaan landasan (WMO, 2008). Parameter angin yang dilaporkan adalah arah dan kecepatannya. Arah angin dilaporkan dengan menuliskan dari arah mana datangnya. Arah dan kecepatan angin yang dilaporkan untuk pesawat terbang yang akan melakukan pendaratan atau lepas landas adalah rata-rata selama selang waktu dua menit sebelum saat pelaporan. Untuk keperluan lain dibuat dengan rata-rata selama selang waktu 10 menit sebelum saat pelaporan.

Satuan ukuran untuk arah angin adalah derajat (°). Secara klimatologis arah angin diamati 8 (delapan) penjuru, tetapi dalam dunia penerbangan angin diamati 36 (tiga puluh enam) arah. Kecepatan angin dinyatakan dalam satuan meter per sekon, kilometer per jam, atau knot (Tjasyono, 2004). Kecepatan angin yang bertiup dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain: gradien barometris berupa perbedaan tekanan udara antara dua tempat, letak lintang, ketinggian tempat, panjang siang dan malam serta topografi bumi.

Pergerakan angin umumnya diukur dengan alat *anemometer*, yang didalamnya terdapat dua sensor, yaitu: sensor *wind speed* (*cup - propeller sensor*) dan sensor *wind direction* (*vane/ weather cock sensor*).

Komponen angin merupakan penjabaran dari vektor angin. Komponen-komponen tersebut adalah *headwind*, *tailwind*, dan *crosswind*.

Headwind adalah angin yang berhembus dari arah depan pesawat. Karena *headwind* dapat meningkatkan daya angkat pesawat, pilot akan memilih untuk pendaratan dan lepas landas pada *headwind*. Sedangkan *tailwind* berhembus dari arah belakang (ekor) pesawat dan akan mengurangi daya angkat. Kebanyakan pesawat akan menghindari lepas landas dan pendaratan jika terjadi *tailwind* (van Es, 2011). Namun, *tailwind* akan dipilih ketika pesawat sudah dalam kondisi jelajah (*cruising*). Hal ini disebabkan karena pada fase *cruising* *tailwind* akan mendorong pesawat sehingga bergerak maju lebih cepat sehingga akan menghemat waktu dan bahan bakar.

Crosswind adalah angin yang berhembus dari sisi dalam proses pendaratan sehingga menyebabkan pesawat melenceng dari arah landas pacu atau bahkan tergelincir (Bellasio, 2014; Cashman, 2014).

METODOLOGI

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data arah dan kecepatan angin permukaan yang dihasilkan dari pengamatan 4 (empat) buah AWS (Automatic Weather Station) per 10 menit. 2 (dua) titik berada di ujung landasan dan 2 (dua) titik berada di tengah landasan. Hal ini guna mengetahui arah dan kecepatan angin di masing-masing ujung landasan dan tengah landasan.

Dilihat dari topografi, penempatan 2 (dua) titik AWS yang berada di sebelah selatan rencana pembangunan *runway*, kondisinya berhadapan langsung dengan laut selatan. Sedangkan 2 (dua) titik AWS lainnya berada di sebelah utara *runway* dengan kondisi banyak tanaman dan lahan perkebunan. Sehingga pengaruh angin darat dan angin laut cukup kuat pada area survei.

Data tersebut merupakan data hasil pengamatan selama kurun waktu Maret hingga September 2017. Bulan Maret - April dipengaruhi oleh angin muson barat, sedangkan bulan Mei, Juni, Juli, Agustus dipengaruhi oleh angin muson timur. Untuk rutinitas *take off* dan *landing* suatu pesawat, *cross wind* merupakan komponen yang paling

penting karena paling sering terjadi pada waktu tertentu.

Masing-masing titik pengamatan AWS tersebut berada pada posisi koordinat (seperti ditunjukkan pada Tabel 1. dan Gambar 1.).

Tabel 1. Posisi Koordinat AWS

No	Lintang	Bujur
AWS 1	7.898980° LS	110.042530° BT
AWS 2	7.906300° LS	110.055400° BT
AWS 3	7.902420° LS	110.057430° BT
AWS 4	7.910850° LS	110.072650° BT

Sumber: BMKG



Data yang telah terkumpul kemudian dilakukan pengolahan dan perhitungan untuk mendapatkan nilai-nilai komponen kecepatan angin. Dalam proses pengolahan data, digunakan dua metode. Metode pertama adalah metode windrose untuk meninjau dominasi angin (Fadholi, 2013). Perangkat lunak yang digunakan untuk mem-plot diagram windrose adalah WR Plot versi 7.1 yang merupakan perangkat lunak open source (WRPlot, 2016).

Metode kedua dilakukan dengan menguraikan vektor angin dalam komponen arah U (*headwind/tailwind*) dan V (*crosswind*). Angin tersebut berasal dari hembusan di permukaan runway. Komponen vektor angin yang dikategorikan signifikan memiliki besar lebih dari 7 knot (Fadholi, 2013). Perhitungan komponen angin tersebut dilakukan dengan persamaan (1) dan (2) sebagai berikut (FAA, 2000; ICAO, 2011).

Angin searah

$$U = ff * \cos(RW - WD) \quad (1)$$

Angin menyilang

$$V = ff * \sin(RW - WD) \quad (2)$$

Keterangan :

U = Kecepatan headwind/tailwind (knot), bernilai positif untuk angin dari belakang dan bernilai negatif untuk angin dari depan.

V = Kecepatan crosswind (knot), bernilai positif untuk angin dari kiri dan bernilai negatif untuk angin dari kanan.

ff = Kecepatan angina (knot)

RW = Arah Runway

WD = Arah Angin.

Hampir seluruh maskapai penerbangan komersial di Indonesia banyak menggunakan tipe Boeing 737 (B737) dan ada beberapa yang menggunakan tipe Airbus 320 (A320). Tipe B737 mempunyai batas maksimum menerima komponen *crosswind* antara 31 knot sampai 36 knot bervariasi pada setiap serinya (Boeing, 1999).

Sedangkan untuk perencanaan pengembangan dan pembangunan tahap I, II, dan III bandar udara New Yogyakarta International Airport akan mampu didarati tipe Boeing 747-400 dengan panjang runway hingga mencapai 3600 (tiga ribu enam ratus) meter (KepMenhub No. 1164 Tahun 2013).

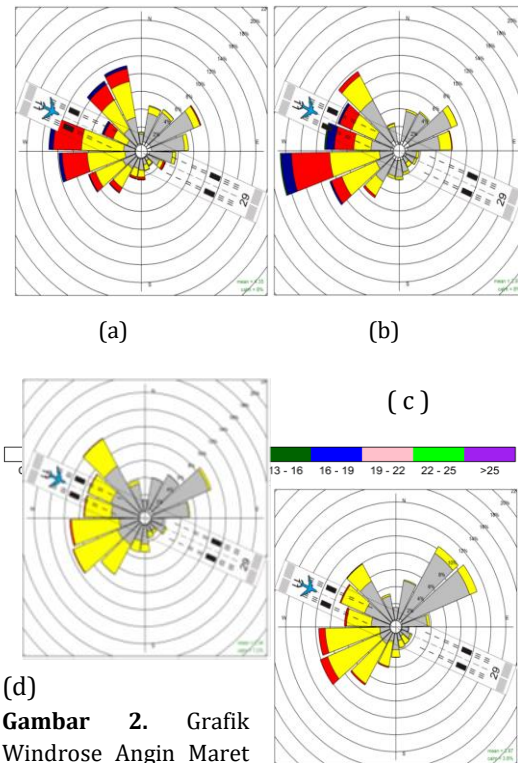
HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang diolah untuk masing-masing titik AWS adalah 4310 data arah dan kecepatan angin. Data tersebut kemudian diolah dan disaring sesuai ketentuan ICAO (ICAO Annex 14, 2009), sehingga diperoleh data-data angin yang diduga berpotensi *cross wind*. Pengolahan dan analisa dilakukan perbulan guna mengetahui kondisi klimatologis angin tiap bulannya yang dipengaruhi oleh angin muson barat dan muson timur serta angin laut dan angin darat selama periode pengamatan.

Analisis Windrose bulan Maret

Kondisi arah angin sesaat pada bulan Maret 2017 menunjukkan pola arah angin yang bervariasi antara Barat Laut hingga Barat Daya pada empat titik pengamatan. Hal ini menunjukkan bahwa angin muson barat masih berpengaruh terhadap kondisi selama pengamatan. Untuk site 1 dan 2, kecepatan angin antara 10-13 knot sekitar 2 %, kecepatan 7-10 knot memiliki persentase sekitar 4 %. Pada site 3 dan 4, kecepatan angin pada umumnya di bawah 7 knot. Kecepatan

angin rata-rata selama Maret 2017 sekitar 4 knot dengan presentase angin calm dari empat titik pengamatan antara 3 hingga 8%. Grafik windrose bulan Maret 2017 dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Windrose Angin Maret 2017 (a) site 1 (b) site 2 (c) site 3 (d) site 4

Analisis Angin Crosswind bulan Maret

Dari hasil perhitungan menggunakan formula diperoleh bahwa pada Maret 2017, potensi terjadinya angin Crosswind > 10 knot hanya terjadi di site 1 sebanyak 2 kali kejadian, dan site 2 sebanyak 1 kali kejadian, seperti Tabel 2.

Tabel 2a. Perhitungan Crosswind dan Tailwind Site 1

Tgl	Jam	WS	WD	XW	HW/TW
11	08.31	15.9	220.9	14.9	5.7
19	14.07	15.8	321.8	-8.3	13.4
20	10.06	16.5	259.9	8.3	14.3
20	12.14	16.2	281.8	2.3	16.0
25	23.12	16.8	250.4	10.7	12.9

Tabel 2b. Perhitungan Crosswind dan Tailwind
Site 2

Tgl	Jam	WS	WD	XW	HW/TW
13	23.05	18.8	277.5	4.1	18.4
20	10.04	19.5	252.2	12.0	15.4
20	12.18	20.1	283.4	2.3	20.0
21	10.55	18.0	269.3	6.4	16.9

Tabel 2c. Perhitungan Crosswind dan Tailwind
Site 3

Tgl	Jam	WS	WD	XW	HW/TW
10	03.39	5.3	220.6	5.0	1.9
10	03.42	4.5	225.7	4.1	3.8

Tabel 2d. Perhitungan Crosswind dan Tailwind
Site 4

Tgl	Jam	WS	WD	XW	HW/TW
10	03.39	4.1	205.6	4.1	0.4
10	03.42	4.6	217.4	4.4	1.4

Ket:

WS = Wind Speed

WD = Wind Direction

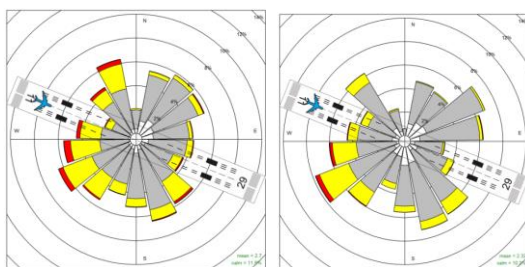
XW = Cross Wind

HW = Head Wind (Jika Nilai Positif)

TW = Tail Wind (Jika Nilai Negatif)

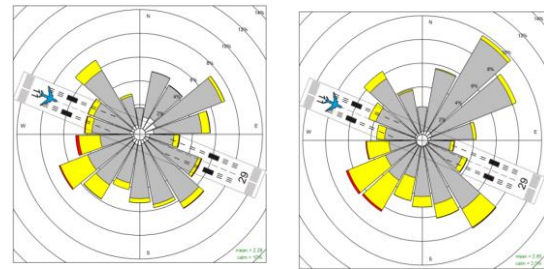
Analisis Windrose bulan April

Kondisi arah angin pada bulan April 2017 menunjukkan pola arah angin yang sangat bervariasi. Tidak ada arah angin dominan dari setiap titik pengamatan pada bulan April. Hal ini disebabkan karena pada bulan April mengalami musim transisi dari musim baratan ke musim timuran. Kecepatan angin rata-rata selama April sekitar 3 Knot dengan persentasi angin calm sekitar 10% (site 1-3) sedangkan persentasi angin calm terendah terdapat di site 4 (3.5%). Grafik windrose bulan April 2017 dapat dilihat pada Gambar 3.



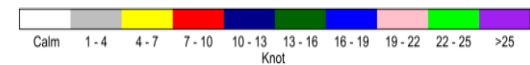
(a)

(b)



(c)

(d)



Gambar 3. Grafik Windrose Angin April 2017 (a) site 1 (b) site 2 (c) site 3 (d) site 4

Analisis Angin Crosswind bulan April

Dari hasil perhitungan menggunakan formula diperoleh bahwa pada April 2017, potensi terjadinya angin Crosswind > 10 knot hanya terjadi di site 1 sebanyak 2 kali kejadian, dan site 2 sebanyak 1 kali kejadian. Sedangkan site 4, terjadi cross wind sebanyak 2 kali dengan kecepatan sebesar 7 hingga 8 knot, seperti Tabel 3.

Tabel 3a. Perhitungan Crosswind dan Tailwind
Site 1

Tgl	Jam	WS	WD	XW	HW/TW
2	15.22	14.3	156.1	10.3	9.9
2	15.33	13.3	153.9	9.2	9.6
4	14.09	13.8	132.5	5.3	12.7
25	08.25	13.4	53.1	11.2	7.3

Tabel 3b. Perhitungan Crosswind dan Tailwind
Site 2

Tgl	Jam	WS	WD	XW	HW/TW
2	12.57	13.6	89.3	4.8	12.7
2	15.24	14.3	152	9.6	10.6
3	09.26	15.6	334.4	10.9	11.1

Tabel 3c. Perhitungan Crosswind dan Tailwind
Site 3

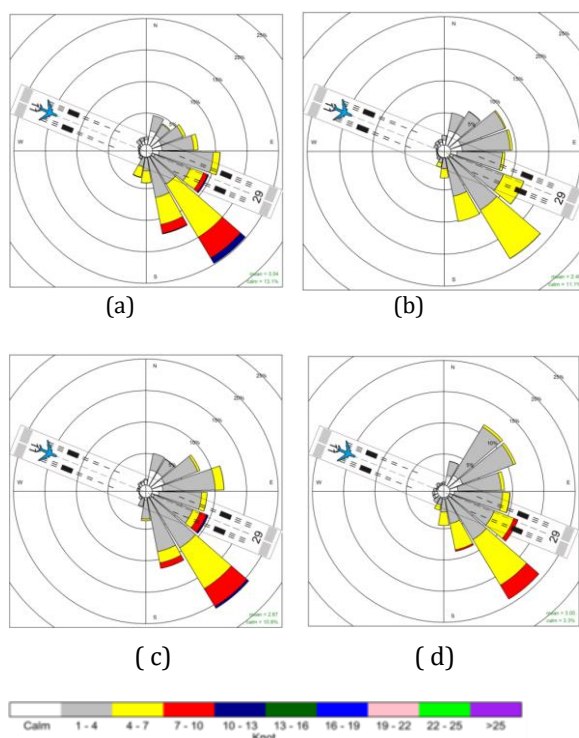
Tgl	Jam	WS	WD	XW	HW/TW
3	09.25	11.7	309.3	3.9	11.0
30	13.35	12	89.9	4.1	11.3

Tabel 3d. Perhitungan Crosswind dan Tailwind
Site 4

Tgl	Jam	WS	WD	XW	HW/TW
2	15.18	10.9	151.4	7.2	8.2
2	15.24	13.3	149.9	8.5	10.2

Analisis Windrose bulan Mei

Kondisi arah angin dari keempat titik pengamatan pada bulan Mei 2017 menunjukkan pola arah angin yang didominasi oleh angin Tenggara. Hal ini menunjukkan pada bulan Mei telah memasuki musim kemarau dengan adanya angin muson timur. Kecepatan angin maksimum terjadi di site 1 pada tanggal 1 Mei 2017 Pukul Pukul 18.15 WIB sebesar 12.9 knot. Kecepatan angin rata-rata selama bulan Mei 2017 sekitar 2 hingga 3 Knot dengan presentase angin calm berkisar antara 11 hingga 13% (site 1, 2 dan 3) sedangkan presentase angin calm terendah tercatat di site 4 (3%). Pada site 1, 3 dan 4, kecepatan angin antara 7-10 knot sekitar 2 %. Grafik windrose bulan Mei 2017 dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik Windrose Angin Mei 2017 (a) site 1 (b) site 2 (c) site 3 (d) site 4

Analisis Angin Crosswind bulan Mei

Dari hasil perhitungan menggunakan formula diperoleh hasil bahwa pada Mei 2017 tidak ditemukan potensi crosswind. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4a. Perhitungan Crosswind dan Tailwind Site 1

Tgl	Jam	WS	WD	XW	HW/TW
1	09.59	12.1	140.5	6.1	10.4
1	10.26	12.7	129.4	4.2	12.0
1	11.15	12.9	134.4	5.3	11.7

Tabel 4b. Perhitungan Crosswind dan Tailwind Site 2

Tgl	Jam	WS	WD	XW	HW/TW
1	06.29	7.6	145.3	4.4	6.2
1	07.16	7.7	144.1	4.3	6.4

Tabel 4c. Perhitungan Crosswind dan Tailwind Site 3

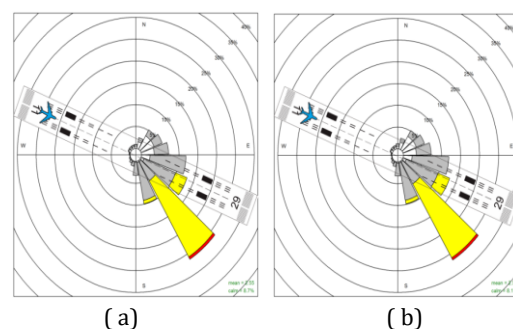
Tgl	Jam	WS	WD	XW	HW/TW
1	07.09	11.5	132.1	4.3	10.7
3	10.27	12.1	134.6	5.0	11.0

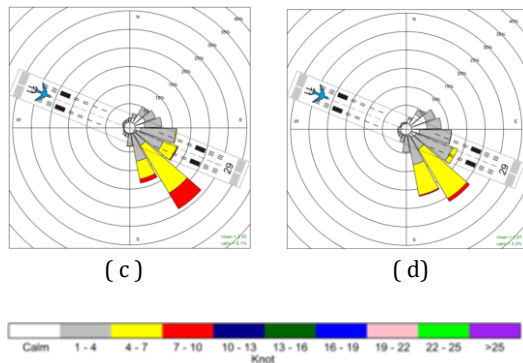
Tabel 4d. Perhitungan Crosswind dan Tailwind Site 4

Tgl	Jam	WS	WD	XW	HW/TW
1	06.32	9.2	148.5	5.7	7.2
1	07.23	9.5	139	4.6	8.3
1	09.07	9.9	134.7	4.1	9.0

Analisis Windrose bulan Juni

Arah angin dari keempat titik pengamatan pada bulan Juni 2017 masih didominasi oleh angin tenggara dengan kecepatan angin maksimum terjadi di site 3 pada tanggal 25 Juni 2017 Pukul 17.40 WIB sebesar 8.7 knot. Angin muson timur sangat berpengaruh pada bulan ini. Kecepatan angin rata-rata selama bulan Juni 2017 sekitar 3 knot dengan presentase angin calm sekitar 8% (site 1, 2, dan 3) sedangkan presentase angin calm terendah tercatat di site 4 (3%). Pada site 3, tercatat kecepatan angina 7-10 knot sebesar 2 %. Grafik windrose bulan Juni 2017 dapat dilihat pada Gambar 5.





Gambar 5. Grafik Windrose Angin Juni 2017 (a) site 1 (b) site 2 (c) site 3 (d) site 4

Analisis Angin Crosswind bulan Juni

Dari hasil perhitungan menggunakan formula diperoleh hasil bahwa pada Juni 2017 tidak ditemukan potensi crosswind. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5a. Perhitungan Crosswind dan Tailwind Site 1

Tgl	Jam	WS	WD	XW	HW/TW
1	07.30	7.5	140.7	3.8	6.4
17	02.30	7.5	141.8	4.0	6.4
17	03.30	7.6	143.2	4.2	6.4

Tabel 5b. Perhitungan Crosswind dan Tailwind Site 2

Tgl	Jam	WS	WD	XW	HW/TW
25	06.50	7.5	138.7	3.6	6.6
25	07.30	7.4	139.3	3.6	6.5

Tabel 5c. Perhitungan Crosswind dan Tailwind Site 3

Tgl	Jam	WS	WD	XW	HW/TW
1	07.30	8.5	160.2	6.6	5.5
17	02.50	8.6	141.8	4.5	7.3
25	07.30	8.6	142.2	4.6	7.3

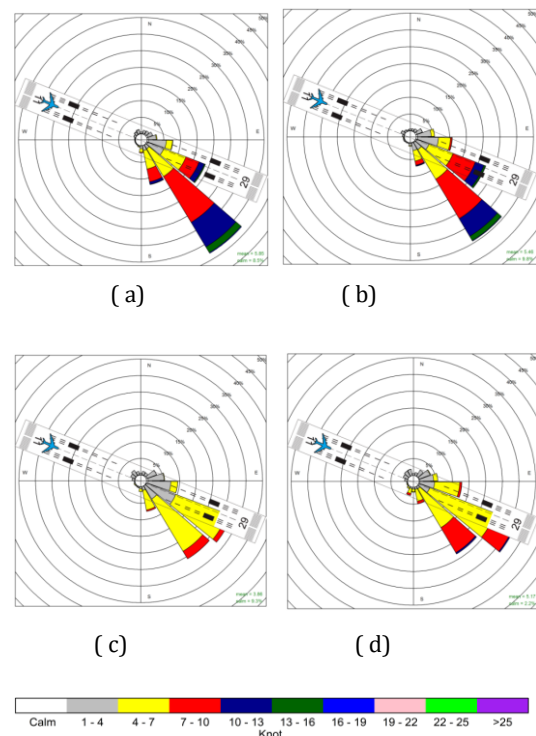
Tabel 5d. Perhitungan Crosswind dan Tailwind Site 4

Tgl	Jam	WS	WD	XW	HW/TW
1	07.30	7.8	146.7	4.7	6.3
25	06.50	7.8	145.9	4.6	6.3
25	07.30	7.7	148.9	4.9	6.0

Analisis Windrose bulan Juli

Arah angin dari keempat titik pengamatan pada bulan Juli 2017 didominasi oleh angin dari Tenggara dengan kecepatan angin maksimum terjadi di site 1 dan 2 mencapai 16

knot sekitar 1 %. Angin muson timur sangat berpengaruh pada bulan ini. Di kedua site tersebut juga menunjukkan persentasi kecepatan angin 10-13 knot sekitar 4 % dan persentasi kecepatan angin 7-10 knot sekitar 6 %. Sedangkan site 3, umumnya kecepatan angin 4-7 knot sekitar 8 % dari arah tenggara. Pada site 4, kecepatan angina 4-7 knot sekitar 8% dan 7-10 knot sekitar 4 % juga dari Tenggara. Grafik windrose bulan Juli 2017 dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik Windrose Angin Juli 2017 (a) site 1 (b) site 2 (c) site 3 (d) site 4

Analisis Angin Crosswind bulan Juli

Dari hasil perhitungan menggunakan formula diperoleh hasil bahwa pada Juli 2017 potensi angin crosswind > 10 knot, terjadi satu kali di site 1. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6a. Perhitungan Crosswind dan Tailwind Site 1

Tgl	Jam	WS	WD	XW	HW/TW
6	08.51	18.7	140.4	9.5	16.1
13	08.41	18.9	139.2	9.2	16.5
24	09.29	18.7	142.5	10.0	15.8

Tabel 6b. Perhitungan Crosswind dan Tailwind
Site 2

Tgl	Jam	WS	WD	XW	HW/TW
13	09.11	19.9	132.1	7.5	18.4
24	08.20	18.8	140.5	9.5	16.2

Tabel 6c. Perhitungan Crosswind dan Tailwind
Site 3

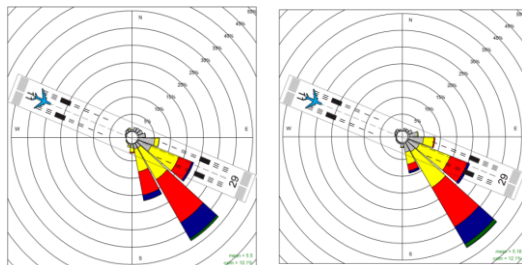
Tgl	Jam	WS	WD	XW	HW/TW
3	04.08	11.1	131.7	4.1	10.3
13	09.12	11.1	131.7	4.1	10.3
13	09.19	10.2	147.1	6.2	8.1

Tabel 6d. Perhitungan Crosswind dan Tailwind
Site 4

Tgl	Jam	WS	WD	XW	HW/TW
13	09.47	12.7	132.5	4.9	11.7
15	08.10	13.2	131.8	4.9	12.3
24	09.22	12.8	141.2	6.6	10.9

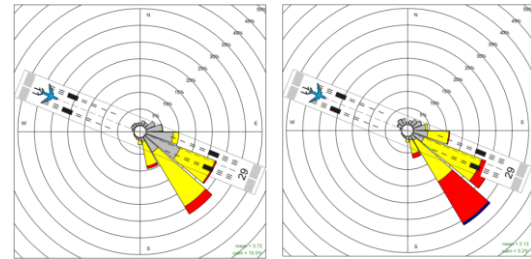
Analisis Windrose bulan Agustus

Pada bulan ini, angin muson timur masih kuat berpengaruh. Hal ini ditandai dengan arah angin bulan Agustus 2017 masih didominasi oleh angin dari Tenggara. Pada site 1 dan 2, kecepatan angina 10-13 knot sekitar 2 %, kecepatan angin 7-10 knot sekitar 6 %. Pada site 3, pada umumnya kecepatan angina 4-7 knot sekitar 8%. Pada site4, kecepatan angin 7-10 knot sekitar 6% dan kecepatan angina 4-7 knot juga sekitar 6 %. Kecepatan angin rata-rata berkisar 3 hingga 5 Knot dengan presentase angin calm sekitar 9% (site 1, 2, dan 3) sedangkan presentase angin calm terendah tercatat di site 4 (2%). Grafik windrose bulan Agustus 2017 dapat dilihat pada Gambar 7.



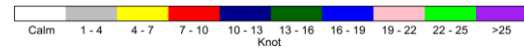
(a)

(b)



(c)

(d)



Gambar 7. Grafik Windrose Angin Agustus 2017
(a) site 1 (b) site 2 (c) site 3 (d) site 4

Analisis Angin Crosswind bulan Agustus

Dari hasil perhitungan menggunakan formula diperoleh hasil bahwa pada Agustus 2017 potensi angin crosswind > 10 knot, terjadi di site 1 dan 2. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7a. Perhitungan Crosswind dan Tailwind
Site 1

Tgl	Jam	WS	WD	XW	HW/TW
28	04.13	17	140.2	8.7	14.9
28	04.22	17	147.2	10.5	13.8
28	04.25	18	148.4	10.9	13.7

Tabel 7b. Perhitungan Crosswind dan Tailwind
Site 2

Tgl	Jam	WS	WD	XW	HW/TW
28	06.29	19	147.8	11.9	15.3
28	06.33	18	146	10.7	14.7
28	07.00	19	142.6	10.1	15.8
28	07.19	18	146.1	10.8	14.9

Tabel 7c. Perhitungan Crosswind dan Tailwind
Site 3

Tgl	Jam	WS	WD	XW	HW/TW
28	08.05	9.9	146.9	5.9	7.9
29	06.06	9.9	158.4	7.4	6.6

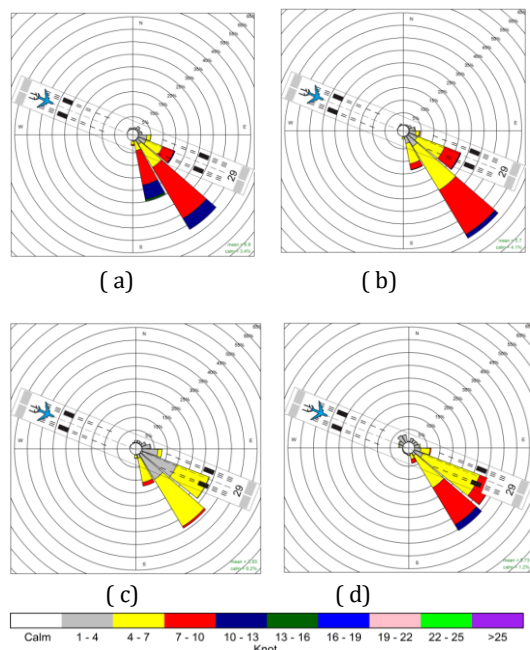
Tabel 7d. Perhitungan Crosswind dan Tailwind
Site 4

Tgl	Jam	WS	WD	XW	HW/TW
28	06.15	12	139.7	6.1	10.7
28	07.53	12	137.4	5.6	10.8

Analisis Windrose bulan September

Arah angin di akhir periode pengamatan (September 2017) tetap didominasi oleh

angin dari Tenggara yang merupakan ciri angin muson timur. Pada Site 1, kecepatan angina 10-13 knot sekitar 2 %, kecepatan angina 7-10 knot sekitar 6-8 %. Di site 2, kecepatan angina 7-10 knot sekitar 6-8 %, kecepatan angina 4-7 knot sekitar 6 %. Disite 3, kecepatan angina hanya mencapai 4-7 knot. Di site4, pada umumnya kecepatan angina 7-10 knot sekitar 8 % dan kecepatan 4-7 knot sekitar 6 %. Grafik windrose bulan September 2017 dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik Windrose Angin September 2017 (a) site 1 (b) site 2 (c) site 3 (d) site 4

Analisis Angin Crosswind bulan September

Dari hasil perhitungan menggunakan formula diperoleh hasil bahwa pada September 2017 potensi angin crosswind > 10 knot, hanya terjadi di site 1. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8a. Perhitungan Crosswind dan Tailwind Site 1

Tgl	Jam	WS	WD	XW	HW/TW
3	04.16	16	157	11.5	10.6
3	04.26	16	156	11.3	10.8
3	04.53	16	157	11.7	11.0
3	05.23	16	156	11.1	10.9

Tabel 8b. Perhitungan Crosswind dan Tailwind Site 2

Tgl	Jam	WS	WD	XW	HW/TW
3	03.04	12	143	6.7	10.4
3	03.40	12	145	7.1	10.1
3	03.55	13	145	7.3	10.6

Tabel 8c. Perhitungan Crosswind dan Tailwind Site 3

Tgl	Jam	WS	WD	XW	HW/TW
2	05.23	8.8	161	6.8	5.5
3	06.52	9.3	165	7.6	5.4

Tabel 8d. Perhitungan Crosswind dan Tailwind Site 4

Tgl	Jam	WS	WD	XW	HW/TW
2	19.08	12	140	6.1	10.7
2	20.46	12	137	5.6	10.8

Hasil analisis bulanan menunjukkan bahwa angin muson barat berpengaruh pada pengamatan bulan maret. Sedangkan pada bulan April, arah angin bervariasi yang menunjukkan adanya musim transisi yang kuat pada bulan tersebut. Sedangkan pada bulan Mei hingga September, angin muson timur sangat berpengaruh selama periode pengamatan. Hal ini disebabkan karena iklim di Indonesia terutama Jawa sangat dipengaruhi oleh angin Muson (Robertson, 2010).

KESIMPULAN

Pola angin pada periode Maret – Mei memiliki arah yang bervariasi dengan kecepatan rata-rata 5 – 8 knot. Pada periode Juni – September, pola angin berhembus dari arah Timur – Tenggara dengan kecepatan rata-rata 6 – 9 knot. Selama periode pengamatan kecepatan angin maksimum yang terjadi antara 14 – 20 knot.

Berdasarkan hasil analisis potensi terjadinya *cross wind*, bahwa untuk pengembangan panjang *runway* hingga mencapai 3600 meter, dapat disimpulkan tidak ada potensi terjadi nya *cross wind*.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan Terima kasih kepada Tim Survey Pengamatan Cuaca Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) serta PT. Angkasa Pura 1 atas data hasil observasi yang kami pakai.

DAFTAR PUSTAKA

- Bellasio, R. (2014). Analysis of wind data for airport runway design. *Journal of Airline and Airport management*. JAIRM, 2014 – 4(2), 97-116
- Boeing. (1999). Boeing 737 Limitation. Di akses 21 Februari 2019 dari <http://www.b737.org.uk/limitations.htm>
- Cashman, J. (2014). Crosswind Guidelines. The Boeing Company. [PDF document]. Di Akses 17 Februari 2019 dari <http://docslide.us/documents/crosswind-guidelines1.html>
- FAA. (2000). Appendix 1, Wind Analysis. Adisory Circular. AC 150/5300-13 CHG 6. Washington, DC. United States. 2000.
- FAA. (2014). Allowable crosswind component per Runway Design Code in knots (m/s in parenthesis). http://www.faa.gov/airports/engineering/design_standards/ - di Akses 19 Februari 2019.
- Fadholi, A. (2012). Analisa Pola Angin Permukaan di Bandar Udara Depati Amir Pangkalpinang Periode Januari 2000 - Desember 2012. *Jurnal Statistika Universitas Islam Bandung*. Vol. 12 No. 1 Mei, 2012.
- Fadholi, A. (2013). Analisis Komponen Angin Landas Pacu (Runway) Bandara Depati Amir Pangkalpinang. *Jurnal Statistika*, Vol. 13 No. 2, 45 – 53, 2013.
- Gerz, T. (2013). Mitigating the impact of weather hazards on aviation. WWOSC 2014, Montreal, Canada.
- Hahn, K. U (1989). Effect of Wind Shear on Flight Safety. *Prog. Aerospace Sci. Voi. 26*, pp. 225-259, 1989
- ICAO. (2011). Aerodrome Meteorological Observation and Forecast Study Group (AMOFSG), Ninth Meeting, 26 to 30 September 2011, Montreal, Canada, 2011.
- ICAO. (2009). Aerodrome Design and Operation. Annex 14 to the Convention on International Civil Aviation. Fifth Edition, July 2009.
- Keputusan Menteri Perhubungan. (2013). Penetapan Lokasi Bandar Udara Baru di Kabupaten Kulon Progo Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. KepMenhub No. KP 1164 Th 2013.
- Page, C. (2010). Understanding Aviation Meteorology and Weather Hazards with Ground-Based Observations. In book: Integrated Ground-Based Observing Systems, January 2010.
- Robertson, A. W., V. Moron, J.-H. Qian, C.-P. Chang, F. Tangang, E. Aldrian, T. Y. Koh, and L. Juneng. (2010). The Maritime Continent monsoon. *The Global Monsoon System: Research and Forecast*, 2nd ed.
- Tjasyono, B.H.K. (2004). *Klimatologi*. ITB, Bandung
- Van Es, G.W.H and A.K. Karwal. (2011). Safety aspects of tailwind operations Safety aspects of tailwind operations. National Aerospace Laboratory-NLR. NLR-TP-2001-003
- WMO (2008). Measurement of meteorological Variable. World Meteorological Organization, 2008.
- WRPLOT. (2016). WRPLOT View User Guide. Lakes Environmental Software, Canada.