

ANALISIS VARIABILITAS ANGIN UNTUK KEPERLUAN PENERBANGAN DI BANDARA KERTAJATI

Wind Variability Analysis for Flight Activities at Kertajati Airport

Musa Ali Mustofa¹⁾, Muhammad Restu Ramadhan²⁾, Rusmawan Suwarman^{1*)}, Muhammad Rais Abdillah¹⁾, Narizka Nanda Purwadani³⁾

¹⁾ Kelompok Keahlian Sains Atmosfer, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung

²⁾ Program Studi Meteorologi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung

³⁾ Program Studi Sains Kebumihan, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung

*E-mail : rusmawan@itb.ac.id

Intisari

Aspek meteorologi di dalam dan sekitar suatu bandara perlu diperhatikan agar operasional penerbangan dapat berjalan lancar. Salah satu aspek terpenting adalah angin yang dapat menentukan cara pilot mengoperasikan pesawat saat lepas landas dan mendarat. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis variasi angin yang relevan dengan operasional penerbangan di Bandara Kertajati. Kami menggunakan data angin dan data METAR/SPECI dari stasiun cuaca di bandara selama lima tahun terakhir. Kami menyelidiki variasi crosswind, headwind, dan tailwind serta wind gust. Hasil penelitian menunjukkan bahwa angin sebagian besar berasal dari arah selatan-tenggara, yang terjadi pada musim kemarau pada malam hari. Angin ini menyumbang 33,4% dari tailwind (headwind) untuk pendaratan (lepas landas) di runway 32. Crosswind dari barat daya dan timur laut runway menyumbang masing-masing sekitar 29,6% dan 23,2%. Untuk analisis wind gust, peristiwa wind gust yang sering terjadi pada rentang waktu 14–15 LT (waktu setempat) yang secara musiman menunjukkan puncaknya pada bulan November-Januari. Kami juga menghubungkan analisis meteorologi dengan kendala teknis pada beberapa pesawat komersial.

Kata Kunci: Bandara Kertajati, Headwind, Tailwind, Crosswind, Wind gust

Abstract

Meteorological aspects in and around an airport need to be considered to ensure flight operations run smoothly. One of the most important aspects is wind, which may determine how the pilots operate the airplane during take-off and landing. This study analyzes wind variations relevant to flight operations at Kertajati Airport. We use wind and METAR/SPECI data from airport weather stations over the last five years. We investigate the variations of crosswind, headwind, tailwind, and wind gusts. The results show that the wind mostly comes from the south-southeast, which prevails during the dry season at night. These winds account for 33.4% of tailwind (headwind) for landing (take-off) on runway 32. Crosswinds from the southwest and northeast of the runway contribute about 29.6% and 23.2%, respectively. For gust analysis, a time range of 14–15 LT (local time) exhibits frequent gust events, which seasonally show peaks in November-January. We also relate the meteorological analysis with the technical constraints of several commercial airplanes.

Keywords: Kertajati airport, Headwind, Tailwind, Crosswind, Wind gust

1. PENDAHULUAN

Bandara Kertajati merupakan salah satu bandara yang sering menjadi topik perbincangan baik dari segi infrastruktur, fasilitas, kondisi sosial, jumlah pengunjung atau penumpang, bahkan diberitakan sebagai tujuan wisata (Darmawan *et al.*, 2018; Tjahjono & Yuliawati, 2017). Letak geografisnya telah direncanakan sedemikian rupa sehingga dapat memberikan kemudahan transportasi khususnya bagi masyarakat Jawa Barat. Bandara Kertajati dirancang dan dibangun untuk menampung transportasi udara dengan fasilitas yang memadai. Bandara ini memenuhi

syarat untuk mengoperasikan aktivitas penerbangan frekuensi tinggi dan jumlah pesawat terbang yang banyak. Banyak aspek yang harus diperhatikan untuk menjalankan operasional pesawat yang aman dan lancar, seperti panjang dan lebar *runway*, fasilitas bandara, fasilitas apron, fasilitas dan kapasitas terminal, sumber daya manusia, dan aspek meteorologi.

Cuaca bertanggung jawab atas 23% kecelakaan penerbangan yang fatal di Indonesia (Pakan, 2014). Salah satu faktor cuaca yang krusial bagi keselamatan penerbangan adalah angin (Sidiropoulos *et al.*, 2018). Angin kencang dan tidak terkendali dapat menjadi tantangan bagi

pilot untuk mengendalikan pesawat dengan aman dan efisien. Faktor angin, terutama berupa *crosswind* dan *tailwind* pada saat mendarat atau lepas landas, berpotensi mempengaruhi stabilitas, performa, dan keselamatan penerbangan. *Crosswind* dapat menyebabkan pesawat miring dari lintasan penerbangan yang diinginkan (Van Es *et al.*, 2001), sedangkan *tailwind* dapat memperpanjang jarak pendaratan atau mempengaruhi kemampuan pesawat untuk mencapai kecepatan lepas landas yang aman (Van Es & Karwal, 2001).

Kecelakaan pada pendaratan dan lepas landas yang disebabkan oleh faktor angin telah terjadi di berbagai belahan dunia. Menurut data dari Airbus, fase pendaratan menyumbang sekitar 57% dan fase lepas landas menyumbang 15% dari kerusakan struktural pesawat tanpa korban jiwa (*Accidents by Flight Phase | Airbus Accident Statistics*, n.d.). Bahkan pada kategori kecelakaan yang membahayakan nyawa atau kecelakaan fatal, fase pendaratan dan lepas landas masing-masing menempati posisi kedua dan ketiga (*Accidents by Flight Phase | Airbus Accident Statistics*, n.d.). Dari sumber yang sama disebutkan bahwa kerusakan struktur pada pesawat disebabkan oleh *runway excursion*, yaitu ketika pesawat melampaui atau keluar dari batas *runway* pada saat lepas landas atau mendarat. Data ini menekankan pentingnya kesadaran dan kewaspadaan yang tinggi dalam menghadapi tantangan dan risiko yang muncul pada saat pendaratan dan lepas landas.

Faktor-faktor yang menyebabkan *runway excursion* sebenarnya dapat bervariasi, termasuk kondisi cuaca buruk, kesalahan pilot, kerusakan atau kegagalan sistem, kontaminasi *runway*, dan kesalahan navigasi. Airbus mengklasifikasikan faktor-faktor tersebut menjadi beberapa kelompok, yakni faktor kesalahan pilot (LOC-I – *Loss of Control in-flight*), kegagalan sistem (SCF – *System/Component Failure*), kontaminasi *runway* akibat curah hujan sisa (ARC – *Abnormal Runway Contact*), (RE – *Runway Excursion*), dll (*Accident Categories | Airbus Accident Statistics*, n.d.). *Runway excursion* disini merupakan kejadian pesawat meninggalkan landasan karena faktor cuaca berupa *crosswind*.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik meteorologi khususnya variasi angin yang berkaitan dengan aktivitas penerbangan di Bandara Kertajati pada iklim terkini. Bagian 2 menunjukkan data dan metode yang digunakan dalam penelitian ini. Hasilnya ditunjukkan pada Bagian 3. Terakhir, Bagian 4 merangkum temuan utama dan mendiskusikan studi-studi potensial di masa depan.

2. METODE

Data observasi diambil dari *Meteorological Aerodrome Report* (METAR) Bandara Kertajati dengan kode *International Civil Aviation*

Organization (ICAO) WICA diakses di <https://aviation.bmkg.go.id/>. Parameter yang digunakan adalah kecepatan angin dan arah angin yang memiliki resolusi temporal 30 menit dan tersedia dari tahun 2018 hingga 2022. Selain itu pada METAR juga terdapat data *wind gust* dengan label "G" yang menunjukkan perubahan kecepatan secara tiba-tiba.

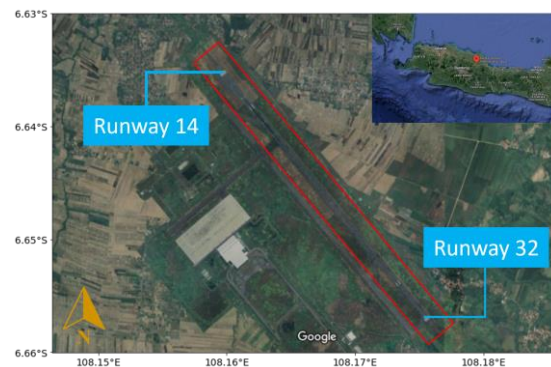
Selain itu juga digunakan beberapa data batasan pesawat sebagai perbandingan batasan teknis untuk kegiatan *landing* dan *take off* di Bandara Kertajati. Variabilitas parameter angin diidentifikasi dalam skala waktu diurnal dan musiman selama periode penelitian. Untuk menganalisa frekuensi arah angin digunakan plot *windrose*. Data angin diproses setiap jam untuk mendapatkan rata-rata angin dan angin maksimum setiap jam dalam setiap bulannya. Frekuensi dan nilai hembusan angin juga dianalisis.

Untuk mengukur *crosswind*, *tailwind*, dan *headwind*, kecepatan angin horizontal perlu diproyeksikan ke arah landasan. *Headwind* dan *tailwind* (u) dapat diperoleh dengan mengalikan kecepatan angin (WS) dengan kosinus selisih arah *runway* (RW) dan arah angin (WD). Sedangkan *crosswind* (v) dapat dicari dengan mengalikan WS dengan sinus selisih RW dan WD , seperti terlihat pada persamaan berikut

$$u = WS * \cos(RW - WD) \quad (1)$$

$$v = WS * \sin(RW - WD) \quad (2)$$

Untuk analisis *wind gust*, dihitung frekuensi *wind gust* yang bervariasi secara harian dan musiman untuk menentukan periode yang rawan terhadap terjadinya *wind gust*.



Gambar 1. Lokasi Bandara Kertajati. *Runway 32* berada di sisi tenggara Bandara Kertajati sedangkan *runway 14* berada di sisi barat laut

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

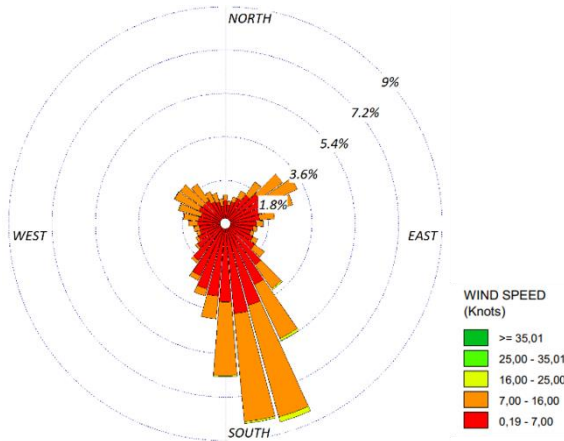
3.1. Arah Angin dan Kecepatan Angin

Gambar 2 menunjukkan arah angin yang dominan di Bandara Kertajati adalah selatan-tenggara. Arah tersebut menyumbang sekitar 30% dari data angin. Terdapat puncak arah angin lain dengan kontribusi yang lebih rendah

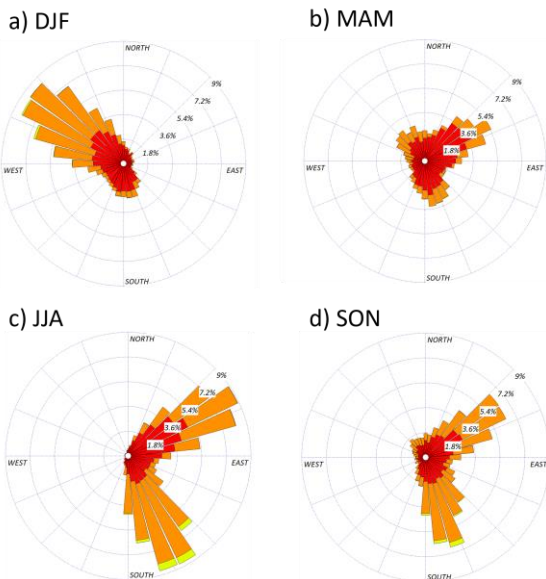
ditunjukkan dari arah barat laut dan timur laut.

Dengan mengklasifikasikan data ke dalam beberapa musim seperti ditunjukkan pada Gambar 3, diperoleh bahwa angin selatan-tenggara dominan terjadi pada musim kemarau (Juni-November). Hal ini sesuai dengan angin muson yang datang dari utara Australia. Pada musim hujan (Desember-Februari), angin yang dominan bertiup dari arah barat laut karena adanya pergerakan ke selatan dari *monsoon trough* dan *intertropical convergence zone* di selatan Indonesia.

Kecenderungan angin selatan di wilayah studi cukup menarik karena angin pasat seharusnya lebih banyak mendorong angin tenggara-timur di selatan khatulistiwa. Salah satu kemungkinan alasannya adalah karena efek *mountainous upwind region* pada wilayah bandara, namun spekulasi ini perlu diklarifikasi dalam penelitian selanjutnya.

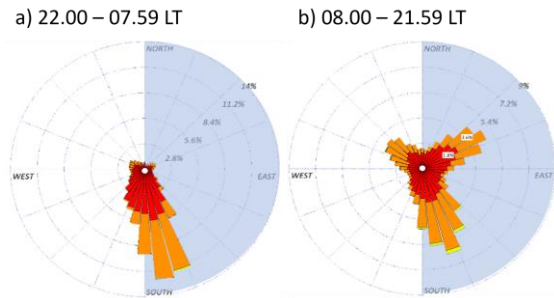


Gambar 2. Windrose di Bandara Kertajati dari data angin tahun 2018–2022.



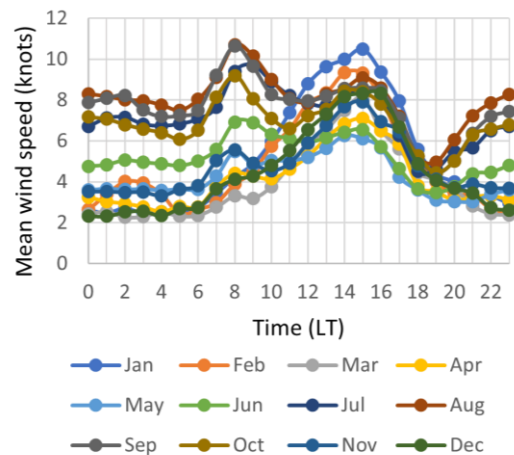
Gambar 3. Distribusi arah angin tiap musim. (a) Desember-Februari, (b) Maret-Mei, (c) Juni-Agustus, (d) September-November.

Gambar 4 menunjukkan variasi arah angin antara siang hari (08–22 LT) dan malam hari (22–08 LT). Pada siang hari, terdapat beberapa angin dari arah utara yang kemungkinan terkait dengan angin laut yang disebabkan oleh perbedaan pemanasan antara Laut Jawa dan Pulau Jawa bagian utara. Pada malam hari, angin utara tidak terlihat, angin terutama datang dari selatan. Selain angin darat pada malam hari, keberadaan pegunungan di selatan kemungkinan besar mendorong berkembangnya angin katabatik.



Gambar 4. Windrose untuk seluruh data pada pukul 22.00–07.59 LT (kiri) dan pukul 08.00–21.59 LT (kanan).

Variasi kecepatan angin di bandara ditunjukkan pada Gambar 5. Grafik ini menunjukkan fluktuasi kecepatan angin antara jam yang berbeda dan bulan yang berbeda. Secara umum kecepatan angin menunjukkan siklus diurnal yang jelas sepanjang tahun dimana puncak angin muncul pada sore hari sekitar pukul 15 LT. Puncak pola diurnal terbesar terjadi pada bulan Januari. Pada bulan Juli hingga Oktober kecepatan angin menunjukkan dua puncak angin (pola semi diurnal) yakni selain puncak sore hari, puncak lainnya muncul pada pagi hari sekitar pukul 08 LT. Kecepatan angin pada bulan-bulan kering lebih kencang dibandingkan bulan-bulan lainnya.

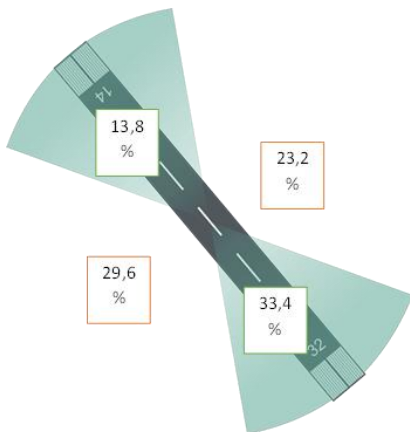


Gambar 5. Rata-rata kecepatan angin di Bandara Kertajati terhadap jam pada setiap bulan.

3.2. Headwind, Tailwind, dan Crosswind

Apabila disesuaikan dengan arah *runway* yang berarah pada 140° dan 320° dengan toleransi arah $\pm 30^\circ$, maka sebaran angin menunjukkan arah angin dominan datang dari sekitar *runway* 32 sebanyak 33,4% seperti pada Gambar 6. Nilai ini relatif kecil dibandingkan referensi ICAO yang bernilai 80%. Meski demikian, arah tersebut tetap mewakili arah angin yang berlaku sehingga menegaskan desain konstruksi *runway*.

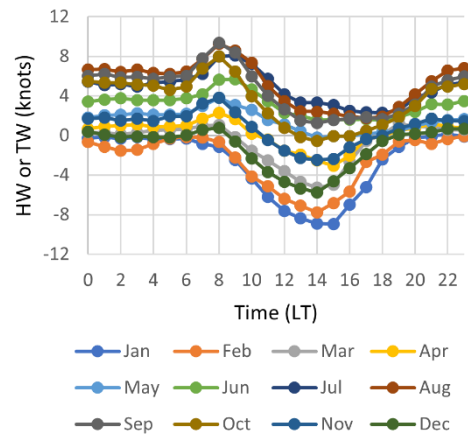
Gambar 6 menunjukkan bahwa pendaratan dan lepas landas dari *runway* 14 harus lebih sering terjadi dibandingkan *runway* 32. *Tailwind* atau *headwind* di *runway* 14 hanya menyumbang 13,8% dari kejadian angin. Pilot harus tetap berhati-hati karena masih terdapat kemungkinan terjadinya *crosswind* dari sisi barat daya dan timur laut *runway*. Kedua arah tersebut berkontribusi terhadap sekitar 52,8% angin.



Gambar 6. Distribusi arah angin berdasarkan arah sejajar dan tegak lurus *runway*.

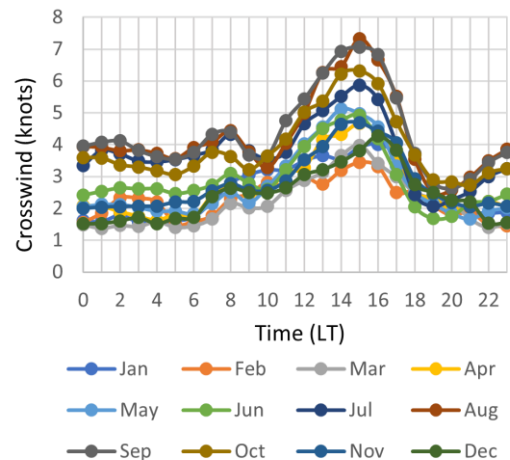
Pola harian dan bulanan *headwind* dan *tailwind* ditunjukkan pada Gambar 7. Jika nilainya positif maka *take-off* dan *landing* sebaiknya dilakukan dari *runway* 14. Sebaliknya jika negatif maka *take-off* dan *landing* sebaiknya dilakukan dari *runway* 32 untuk menghindari *tailwind*. Pada beberapa bulan, terdapat siklus yang menunjukkan variasi dengan nilai positif dan negatif dalam satu hari. Hal ini menandakan bahwa *Air Traffic Controller* (ATC) di Bandara Kertajati harus mengubah arah pendaratan atau lepas landas pada hari yang sama.

Untuk musim hujan (Desember-Maret) dan kemarau (Juni-Oktober), arah *runway* cenderung sama sepanjang hari, yaitu menggunakan *runway* 32 pada musim hujan dan *runway* 14 pada musim kemarau tanpa perlu mengubah arah dalam hari yang sama. Namun pada musim peralihan April-Mei dan November, ATC perlu mewaspadai kemungkinan harus mengubah arah landasan yang digunakan dalam satu hari.



Gambar 7. Rata-rata *headwind/tailwind* pada *runway* Bandara Kertajati terhadap jam pada setiap bulan. Nilai positif menunjukkan angin bertiup dari selatan-tenggara dan negatif menunjukkan angin bertiup dari utara-barat laut.

Dari rata-rata nilai *crosswind* (Gambar 8), secara keseluruhan terjadi peningkatan nilai *crosswind* pada sore hari. *Crosswind* pada bulan Juli-Oktober memiliki nilai yang cukup besar dibandingkan bulan-bulan lainnya dan memiliki puncak diurnal sekunder pada pagi hari. Pola diurnal ini agak mirip dengan pola diurnal kecepatan angin pada Gambar 5.

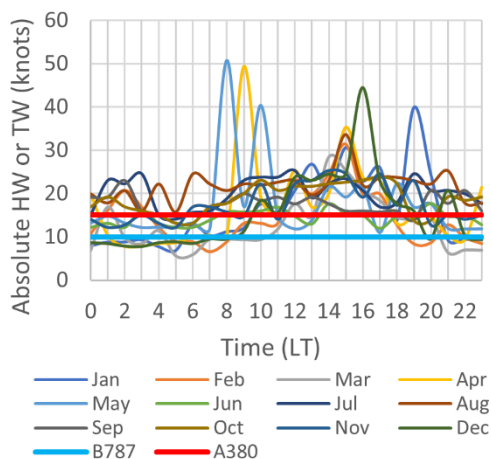


Gambar 8. Rata-rata *crosswind* (rata-rata dari timur laut dan barat daya) di *runway* Bandara Kertajati terhadap jam pada setiap bulan.

3.3. Headwind, Tailwind, dan Crosswind Ekstrem dan Perbandingan dengan Batasan Pesawat

Pada saat pembuatan pesawat terbang, pabrik telah merancang dan menguji pesawat mereka hingga batas *tailwind/headwind* dan *crosswind* tertentu. Gambar 9 menunjukkan nilai maksimum *tailwind/headwind* untuk setiap jam pada setiap bulan. Garis horizontal menunjukkan batas toleransi Boeing 787 (B787) dan Airbus

A380 (A380). Terdapat banyak kejadian *headwind/tailwind* yang melebihi batasan kedua pesawat komersial besar tersebut (10 dan 15 knot), terutama pada pagi dan sore hingga malam hari. Berdasarkan data keseluruhan, sekitar 8,4% dari seluruh data angin dari tahun 2018 hingga 2022 melebihi batasan *tailwind* B787 dan 1,2% melebihi batasan *tailwind* A380.

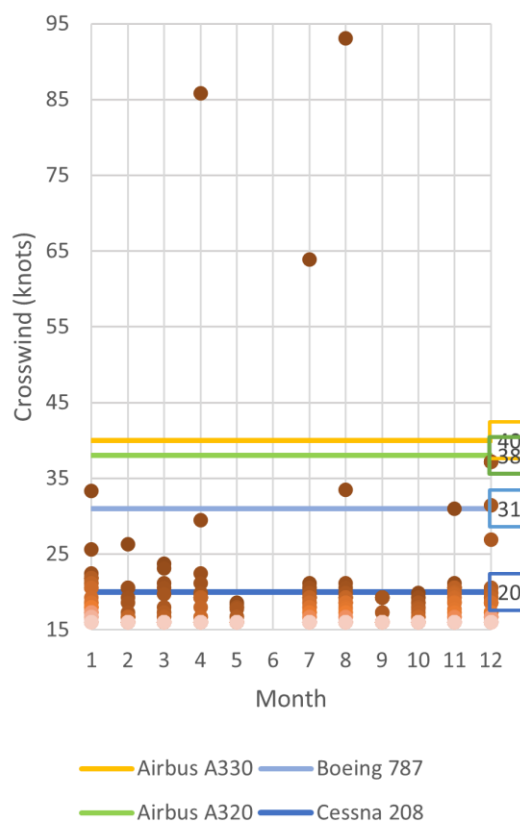


Gambar 9. Nilai *tailwind* atau *headwind* maksimum absolut dan batasan untuk beberapa pesawat komersial (B787 dan A380).

Gambar 10 menunjukkan kejadian *crosswind* ekstrem bulanan (di atas 16 knot) yang terjadi di Bandara Kertajati ditambah dengan garis yang menunjukkan batasan *crosswind* untuk beberapa pesawat yang sering digunakan oleh maskapai penerbangan di Indonesia (Airbus A320 dan A330, Boeing 787, dan Cessna 208). Terdapat tiga peristiwa yang sangat ekstrem terjadi pada bulan April, Juli, dan Agustus. Terdapat kejadian ekstrem pada bulan-bulan lainnya kecuali pada bulan Juni. Batasan pesawat ditentukan dalam kondisi ideal dimana sistem pengereman bekerja sempurna dan landasan tidak basah atau licin. Dalam keadaan sistem pesawat terbang atau kondisi landasan pacu tertentu, pesawat tidak diperbolehkan mendarat atau lepas landas dalam kondisi *crosswind* dengan kecepatan 5 knot.

3.4. Wind Gust

Semakin banyak *wind gust* yang terjadi di suatu bandara, maka akan semakin banyak tantangan bagi pilot. *Wind gust* yang tiba-tiba dapat mengganggu kestabilan pesawat sehingga menyebabkan goyangan atau bahkan perubahan arah secara tiba-tiba. Data METAR menunjukkan bahwa sebanyak 187 hari dari lima tahun (10,3%) mengalami peristiwa *wind gust* dengan kecepatan angin bervariasi antara 16–58 knot. Seperti terlihat pada Gambar 11, *wind gust* paling banyak terjadi sekitar pukul 12.00–17.00 LT. Secara musiman, *wind gust* sebagian besar terjadi di musim hujan.



Gambar 10. Nilai *crosswind* ekstrem (di atas 16 knot) dan batasan untuk beberapa pesawat komersial.

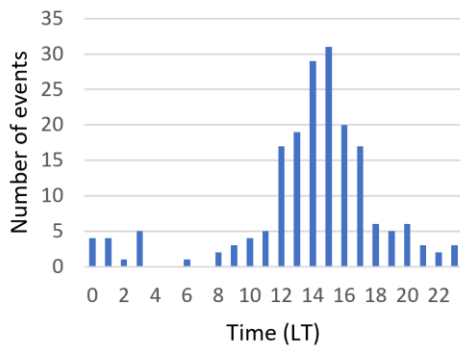
4. DISKUSI

Analisis di atas diperoleh berdasarkan data observasi METAR. Namun, stasiun observasi meteorologi di Indonesia saat ini masih sedikit sehingga untuk analisis awal kajian angin biasanya menggunakan data dari reanalisis. Di bab ini akan dievaluasi salah satu reanalisis terbaru yaitu ERA5-land (Hersbach *et al.*, 2020) yang akan dibandingkan dengan data-data METAR.

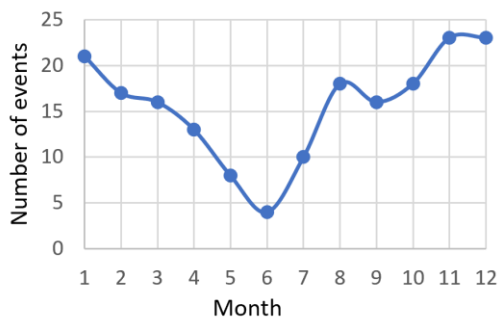
Gambar 12 merupakan *wind rose* dari data ERA5 di Bandara Kertajati. Terlihat arah angin dominan berasal dari selatan–tenggara. Lalu ada dua puncak minor di barat-barat laut dan timur-timur laut. Pola ini sangat konsisten dengan analisis *wind rose* dari METAR (Gambar 3). Lalu Gambar 13 dan 14 menampilkan pola diurnal dan musiman *headwind/tailwind* dan *crosswind* dari ERA5. Secara umum polanya sangat mirip dengan hasil dari data METAR di Gambar 7 dan 8. *Headwind* tertinggi terlihat pada pagi hari di bulan September dan Oktober. Sedangkan *tailwind* terkuat terlihat pada siang–sore hari di bulan Januari. Terlihat juga pola *crosswind* yang memuncak di sore hari pada bulan September dan Oktober, walaupun pada ERA5 *crosswind* di bulan Oktober relatif lebih lemah. Secara keseluruhan, data reanalisis ERA5 sudah cukup baik menggambarkan variasi arah angin dan kecepatan *tailwind/headwind* serta *crosswind* di

Bandara Kertajati. Evaluasi tambahan di bandara lainnya diperlukan agar diperoleh informasi yang lebih komprehensif dan signifikan.

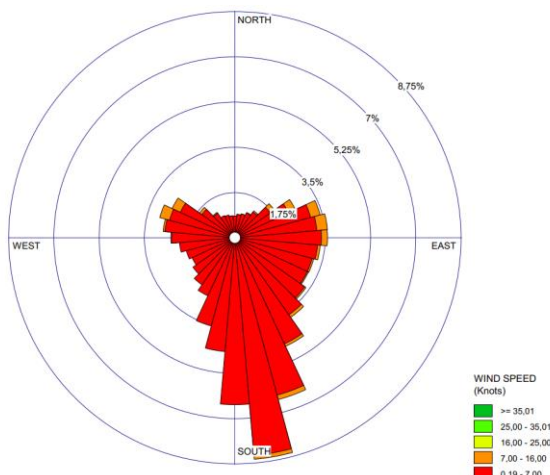
a) Wind gust frequency per hour



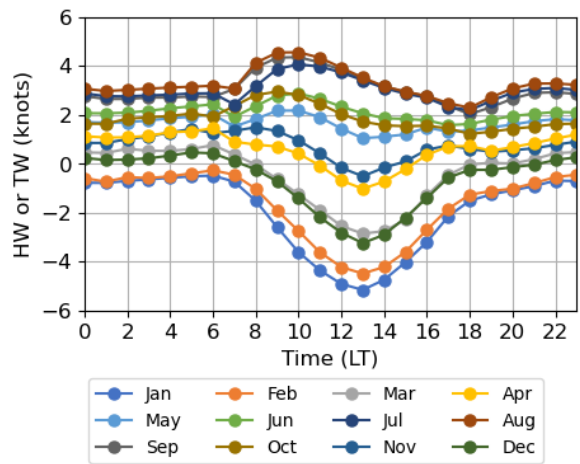
b) Wind gust frequency per month



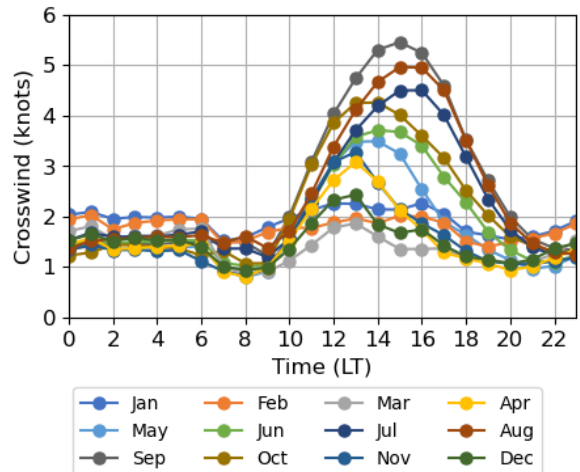
Gambar 11. Frekuensi kejadian hembusan angin per jam (a) dan per bulan (b).



Gambar 12. Sama dengan Gambar 2 namun menggunakan data angin 10 m dari reanalisis ERA5.



Gambar 13. Sama dengan Gambar 7 namun menggunakan data angin 10 m dari reanalisis ERA5.



Gambar 14. Sama dengan Gambar 8 namun menggunakan data angin 10 m dari reanalisis ERA5.

5. KESIMPULAN

Arah angin di Bandara Kertajati secara umum menunjukkan pola muson. Arah angin dominan berasal dari selatan–tenggara dan sebagian besar bertiup pada malam hari. Angin pada musim kemarau umumnya kuat dan menunjukkan puncak semidiurnal, namun pada musim hujan, kecepatan angin menunjukkan siklus diurnal yang jelas. Pada muson barat, kecepatan angin rata-rata mencapai maksimum sekitar pukul 15.00 LT. Sedangkan pada muson timur, kecepatan angin maksimum terpantau di puncak lainnya pada pukul 08.00 LT.

Headwind/tailwind diwakili oleh angin yang bertiup ke runway 14 dan 32 dengan persentase sebesar 47,2%. Sebagian besar headwind/tailwind berasal dari runway 32 (33,4%). Analisis diurnal headwind/tailwind menunjukkan adanya perubahan arah angin pada bulan-bulan tertentu, menegaskan bahwa ATC Bandara Kertajati terkadang harus mengubah

arah *landing* atau take off pada hari yang sama. Peristiwa *crosswind* terdeteksi sebesar 52,8% dengan arah dari sisi timur laut dan barat daya landasan pacu. Secara diurnal, rata-rata *crosswind* relatif berbahaya pada sore hari terutama pada musim kemarau.

Jika dibandingkan dengan batasan desain beberapa pesawat, *headwind/tailwind* maksimum di Bandara Kertajati setiap bulannya melebihi batasan A380 dan B787. Nilai maksimumnya sangat kuat pada pagi dan sore hari. Dalam kasus *crosswind*, hanya sedikit *crosswind* ekstrem di Bandara Kertajati yang melebihi batas kemampuan pesawat, khususnya batasan pesawat yang digunakan pada studi ini, yakni Cessna 208, B787 serta Airbus A320 dan A330.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Accident Categories | Airbus Accident Statistics.* (n.d.). Retrieved November 2, 2023, from <https://accidentstats.airbus.com/statistics/accident-categories>
- Accidents by flight phase | Airbus Accident Statistics.* (n.d.). Retrieved November 2, 2023, from <https://accidentstats.airbus.com/statistics/accident-by-flight-phase>
- Darmawan, M. R., Pratama, R. K., Agusinta, L., Pratiwi, S. W., Kamal, I. (2018). Kertajati Airport Potential for West Java Tourism. *Advances in Transportation and Logistics Research*, 1(0), Article 0. <https://doi.org/10.25292/atlr.v1i1.77>
- Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñoz-Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Abdalla, S., Abellan, X., Balsamo, G., Bechtold, P., Biavati, G., Bidlot, J., Bonavita, M., De Chiara, G., Dahlgren, P., Dee, D., Diamantakis, M., Dragani, R., Flemming, J., Forbes, R., Fuentes, M., Geer, A., Haimberger, L., Healy, S., Hogan, R. J., Hólm, E., Janisková, M., Keeley, S., Laloyaux, P., Lopez, P., Lupu, C., Radnoti, G., de Rosnay, P., Rozum, I., Vamborg, F., Villaume, S., Thépaut, J.-N. (2020). The ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 146(730), 1999–2049. <https://doi.org/10.1002/qj.3803>
- Pakan, W. (2014). Faktor Penyebab Kecelakaan Penerbangan Di Landas Pacu. *Warta Penelitian Perhubungan*, 26(3), Article 3. <https://doi.org/10.25104/warlit.v26i3.879>
- Sidiropoulos, S., Majumdar, A., Han, K. (2018). A framework for the optimization of terminal airspace operations in Multi-Airport Systems. *Transportation Research Part B: Methodological*, 110, 160–187. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2018.02.010>
- Tjahjono, T., Yuliawati, E. (2017). Bandar Udara Internasional Jawa Barat (BIJB) dan Potensi Kertajati Sebagai Aerocity. *Warta Ardha*, 43(1), 43–50.
- Van Es, G. W. H., Karwal, A. K. (2001). *Safety aspects of tailwind operations.* <https://reports.nlr.nl/bitstream/10921/738/1/TP-2001-003.pdf>
- Van Es, G. W., van der Geest, P. J., Nieuwpoort, A. M. H. (2001). *Safety aspects of aircraft operations in crosswind.* <https://reports.nlr.nl/bitstream/10921/759/1/TP-2001-217.pdf>