

ANALISIS ARAH DAN KECEPATAN ANGIN TERHADAP ORIENTASI RUNWAY BANDARA SILANGIT

Charles Sitindaon¹, Clara Duwi Pani Rumapea², Litany Sephora Stindaon³

^{1,2} Universitas Katolik Santo Thomas, ³Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Email: charles191267@gmail.com

ABSTRACT

Wind direction and speed play a crucial role in aviation as they directly affect the safety and efficiency of aircraft during take-off and landing. Therefore, it is necessary to analyze wind patterns and runway orientation at Silangit Airport. This analysis uses combined wind data from 2020 to 2024 obtained from the Silangit Meteorological Station. The dominant wind direction at Silangit Airport is analyzed using wind rose diagrams to determine the prevailing wind patterns. The data is processed using the WRPlot View application. the most frequent wind direction is from the East North East (ENE) at 12.306%. This direction was identified from the combined data of 2020–2024. From the wind coverage calculation of the dominant direction, a result of 99.830% was obtained for the 70°–250° axis, while the existing runway orientation of 90°–270° had a wind coverage value of 99.801%. This coverage value is considered acceptable, as it meets the minimum threshold of 95%. These results indicate that the current runway orientation is still highly feasible for operational use under the wind conditions at Silangit Airport. The comparison between both values serves as the technical basis for evaluating the suitability of the runway orientation under long-term wind patterns.

Keywords: wind direction, runway, wind rose, wind coverage, WRPlot View

ABSTRAK

Arah dan kecepatan angin sangat berperan penting dalam penerbangan karena dapat mempengaruhi keselamatan dan efisiensi pesawat terbang saat landas dan mendarat. Bandara Silangit berada di daerah perbukitan dan perairan serta dataran tinggi, maka sangat besar kemungkinan arah angin yang berubah-ubah. Untuk itu perlu dilakukan analisis arah angin dan orientasi landasan pacu di Bandara Silangit. Analisis ini menggunakan data gabungan tahun 2020 hingga 2024 yang diperoleh dari Stasiun Meteorologi Silangit. Dalam penelitian ini dilakukan analisis arah angin dominan di Bandara Silangit menggunakan diagram windrose untuk mengetahui arah angin terbanyak. Data diolah menggunakan bantuan aplikasi WRPlot View. arah angin terbanyak berasal dari arah *ENE* (*East North East*) sebesar 12,306%. Arah angin ini diambil dari data gabungan tahun 2020–2024. Dengan perhitungan cakupan angin (*wind coverage*) dari arah angin dominan, didapatkan hasil cakupan angin sebesar 99,830% pada arah 70°–250°, sedangkan arah landasan pacu eksisting yaitu 90°–270° memiliki nilai cakupan angin sebesar 99,801%. Nilai cakupan angin dapat dikatakan layak karena memenuhi syarat kelayakan yaitu minimum 95%. Hal ini menunjukkan bahwa arah landasan pacu eksisting masih sangat layak terhadap arah angin di Bandara Silangit. Perbandingan kedua nilai tersebut menjadi dasar analisis kelayakan teknis orientasi runway terhadap kondisi angin jangka panjang.

Kata Kunci: arah angin, landasan pacu, windrose, cakupan angin, WRPlot View

1. PENDAHULUAN

Angin merupakan salah satu faktor utama yang mempengaruhi aktivitas penerbangan. Pesawat udara, baik saat lepas landas maupun mendarat, sangat bergantung pada arah angin demi keamanan dan efisiensi bahan bakar. Idealnya, pesawat melakukan proses lepas landas dan pendaratan dengan arah angin yang berlawanan (*headwind*) untuk menghasilkan gaya angkat yang optimal. Oleh karena itu, dalam penentuan arah dan letak landasan pacu, perlu dilakukan analisis yang mendalam terhadap data angin baik dari segi arah dan kecepatannya. Untuk menentukan apakah orientasi *Runway* yang digunakan telah sesuai dengan pola angin dominan dan memenuhi kriteria keselamatan operasional. Kesalahan dalam menentukan arah landasan pacu tanpa mempertimbangkan pola angin yang dominan dapat berakibat pada peningkatan risiko kecelakaan, pembatasan operasional, serta ketidakefisienan penggunaan bahan bakar.

Periode data angin yang digunakan dalam analisis juga memegang peranan penting. Data angin yang dikumpulkan dalam jangka waktu yang terlalu singkat dapat menghasilkan analisis yang kurang representatif terhadap kondisi sebenarnya, terutama dalam wilayah yang memiliki variasi musim dan perubahan pola angin sepanjang tahun. Oleh karena itu, pemilihan periode data yang memadai menjadi salah satu faktor kunci dalam memastikan bahwa hasil analisis benar-benar mencerminkan kondisi iklim mikro yang stabil dan dapat diandalkan untuk perencanaan teknis. Pembahasan terhadap data angin yang tepat tidak hanya bertujuan untuk mengetahui arah dominan saja, tetapi juga untuk mengevaluasi apakah landasan pacu yang ada telah sesuai dengan arah angin dominan dan memiliki cakupan angin (*Wind Coverage*) yang memenuhi standar ICAO. Dalam penelitian ini, penulis akan melakukan analisis terhadap data angin yang dikumpulkan selama periode lima Tahun pada Bandara Silangit untuk mengevaluasi kesesuaian arah dan letak landasan pacu yang ada menggunakan data terbaru. Oleh karena itu, perbedaan hasil analisis arah landasan pacu yang ditemukan dalam penelitian ini dibandingkan dengan arah landasan eksisting dapat dijelaskan melalui perbedaan periode dan kualitas data angin yang digunakan.

Penelitian ini tidak hanya memberikan gambaran teknis mengenai kondisi meteorologis di kawasan bandara, tetapi juga berkontribusi terhadap perencanaan pengembangan infrastruktur transportasi udara yang lebih aman, efisien, dan berkelanjutan. Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan masukan yang bernilai bagi pihak-pihak yang terlibat dalam perencanaan, pengelolaan, dan pengembangan Bandara Silangit, serta menjadi referensi bagi penelitian-penelitian sejenis di masa yang akan datang.

2. METODE PENELITIAN

Dalam menyelesaikan sebuah penelitian harus lebih terarah agar penelitian mencapai hasil yang diinginkan, hal ini terdiri dari rancangan penelitian, teknik pengumpulan data, waktu penelitian, langkah pengambilan data, dan tahap analisis menggunakan software WRPlot.

2.1 Rancangan Penelitian

Dalam melaksanakan penelitian diperlukan suatu rancangan penelitian agar dapat membantu dalam menentukan langkah penelitian. Rancangan penelitian diharapkan dapat memperlancar dalam mencapai sasaran sesuai dengan yang diinginkan yang berisi tentang studi literatur mengenai metode apa yang tepat untuk pengambilan data tersebut. Kemudian dilanjutkan dengan survey pendahuluan dan pengajuan surat permohonan

kepada dinas terkait.

2.2 Teknik Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini terdapat dua jenis data yaitu, data primer terdiri dari pengecekan azimuth landasan pacu dan data angin selama 7 hari sebagai data verifikasi pada data sekunder. Data sekunder terdiri dari ukuran panjang dan lebar landasan pacu dan data angin 5 Tahun (2020 – 2024) yang diperoleh dari stasiun Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika bandara Silangit.

2.3 Waktu Penelitian

Pengambilan data primer dilakukan selama 7 hari berturut-turut, yaitu pada tanggal 5 hingga 11 September 2024, pada Stasiun Meteorologi BMKG Silangit. Pada periode ini, dilakukan pencatatan langsung kecepatan dan arah angin setiap satu jam sebagai bagian dari kegiatan lapangan dalam penelitian ini dan memerlukan bantuan 2 orang untuk mencatat arah dan kecepatan angin, yang dimana 1 orang mengamati perubahan data angin yang tercatat pada logger sistem awos dan 1 orang mencatat pada sistem komputer.

2.4 Langkah Pengambilan Data

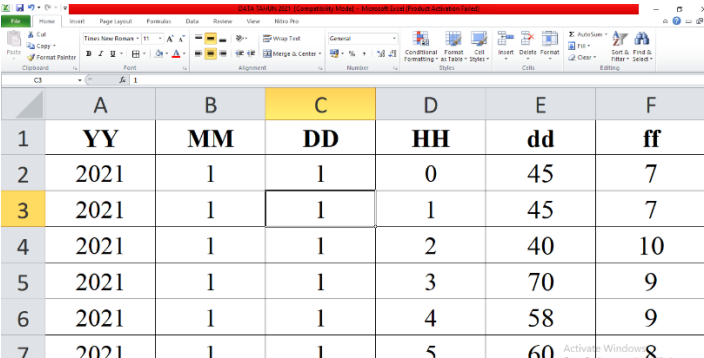
Langkah-langkah pengambilan data yaitu dengan alat *Anemometer* yang terpasang pada alat meteorologi dilapangan, yang kemudian hasil pembacaan arah dan kecepatan angin diproses dan tercatat pada kotak logger, sehingga data tersebut dikirim melalui sistem pada komputer kantor stasiun meteorologi. Data selama 5 Tahun (2020 – 2024) yang tercatat pada stasiun meteorologi kemudian digunakan sebagai bahan analisa.

2.5 Tahap Perhitungan

Data angin 5 Tahun (2020 – 2024) diolah dengan menggunakan bantuan program *WRPlot View* dan hasil *Windrose* divisualisasikan dengan bantuan *Autocad 2007* untuk mengetahui cakupan angin (*Wind Coverage*).

Langkah-langkah penggunaan *Software WRPlot View*:

1. Menyusun data arah dan kecepatan angin dalam bentuk file CSV atau TXT, sesuai format pada *WRPlot* dengan data angin selama 24 jam seperti pada Gambar 1.



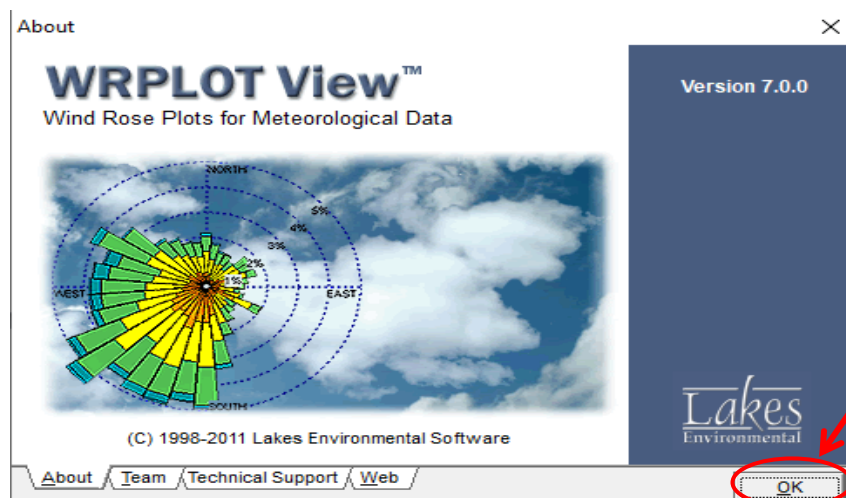
	YY	MM	DD	HH	dd	ff
1	2021	1	1	0	45	7
2	2021	1	1	1	45	7
3	2021	1	1	2	40	10
4	2021	1	1	3	70	9
5	2021	1	1	4	58	9
6	2021	1	1	5	60	8

Gambar 1. Format Data Angin

Keterangan gambar:

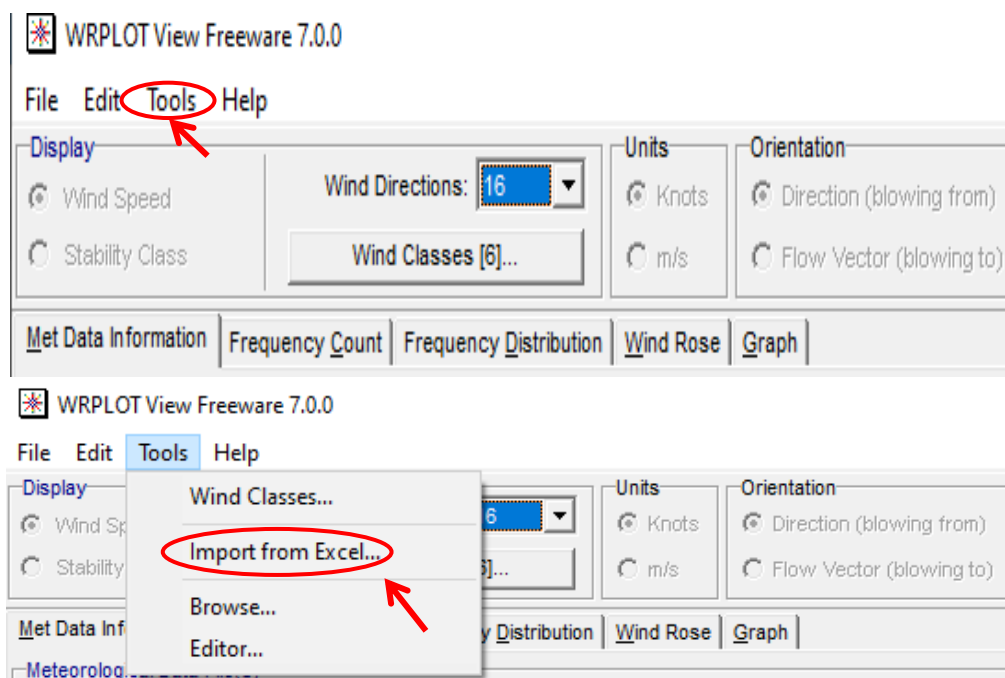
YY : tahun; MM : bulan; DD : tanggal; HH : jam; dd : arah angin; ff: kecepatan angin

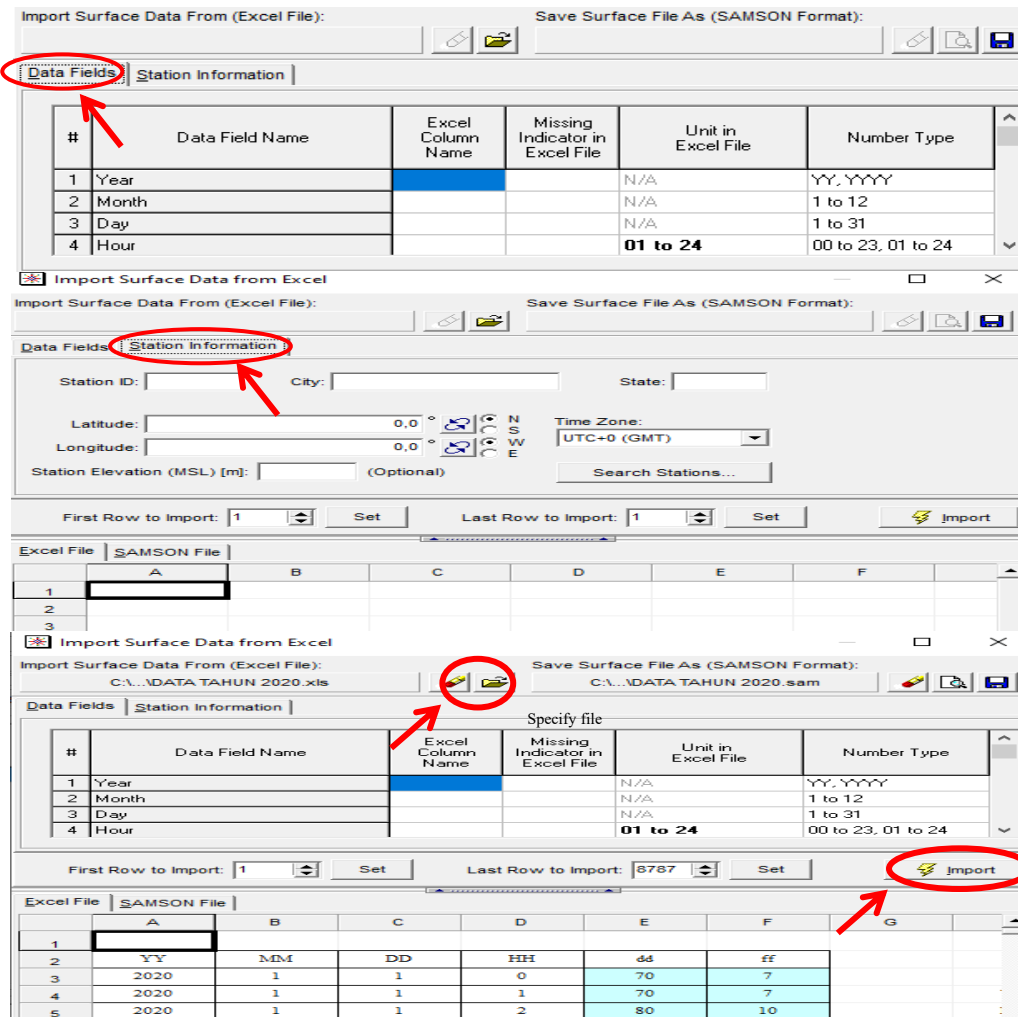
2. Masuk pada *Software WRPlot View* versi 7.0.0 dengan menekan “OK” pada bagian kanan bawah seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Tampilan Awal WRPlot View

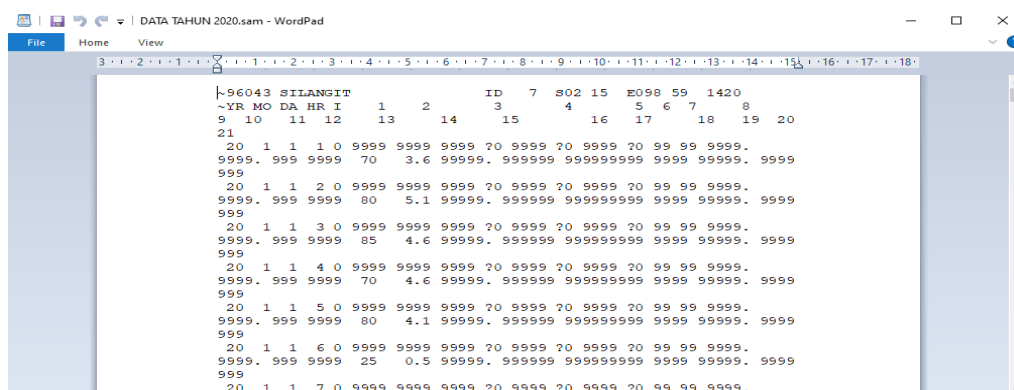
3. Tahapan memasukkan data pada *Software* seperti pada Gambar 3 di bawah. klik “Tools” pilih “Import From Excel” pada menu tersebut muncul 2 tampilan yaitu tampilan “Data Fields” dan tampilan “Station Information”. Pada tampilan “Data Fields” diminta untuk mengisi tabel sesuai format data yang dimiliki dan pada tampilan “Station Information” ini diminta untuk mengisi informasi terkait lokasi pengamatan data angin. Selanjutnya klik “Specify File” pilih file yang akan diunggah sesuaikan “First Row To Import” dan “Last Row To Import” kemudian klik “Import”





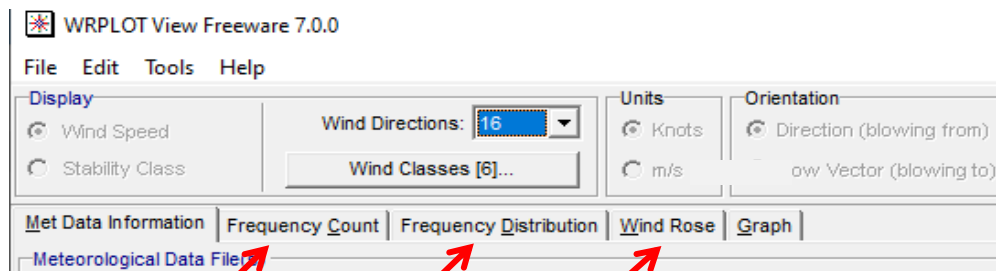
Gambar 3. Penginputan Data

- Setelah data berhasil diimpor, *WRPlot View* meminta pengguna untuk menyimpan data tersebut ke dalam format file khusus yaitu “.met” atau “.dat” seperti pada Gambar 4 di bawah. Format file ini yang kemudian digunakan untuk menghasilkan grafik visualisasi arah dan kecepatan angin pada *Wind Rose Plot*. Dengan menyimpan file dalam format tersebut, pengguna tidak perlu mengulang proses pengaturan data dan informasi stasiun apabila ingin membuka data yang sama di lain waktu.



Gambar 4. Format File Met

5. Hasil *Software WRPlot View*. Klik “Add File” pada menu utama, lalu pilih file dengan format “.met” yang telah dibuat sebelumnya. sebelum menampilkan hasil terlebih dahulu sesuaikan jumlah arah angin (*Wind Directions*) dan satuan kecepatan angin (*Units*). Untuk melihat hasil rekapitulasi keseluruhan data diakses pada menu “*Frequency Count*”. Selanjutnya untuk melihat distribusi data berdasarkan kelas kecepatan dan arah angin klik menu “*Frequency Distribution*”. Untuk menampilkan grafik visualisasi arah dan kecepatan angin dalam bentuk mawar angin klik menu “*Wind Rose*” Gambar 5.



Gambar 5. Tampilan Menu Hasil

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisa Pola Angin Gabungan

Kondisi Angin 5 Tahun

Data rekapitulasi 5 Tahun diperoleh menggunakan *Software WRPlot View*, dalam membantu mengelompokkan data terhadap 18 arah mata angin dan 6 golongan kecepatan angin.

Tabel 1. Data Angin 5 Tahun (2020 – 2024)

Arah Angin	Data Angin						Total
	1–4 knot (f_1)	4–7 knot (f_2)	7–11 knot (f_3)	11–17 knot (f_4)	17–21 knot (f_5)	≥ 22 knot (f_6)	
Utara	1567	1400	494	25	-	-	3486
Utara Timur Laut	620	1514	795	17	-	2	2948
Timur Laut	528	1194	620	17	1	1	2361
Timur - Timur Laut	1311	2286	1538	258	4	1	5398
Timur	571	568	346	113	-	-	1598
Timur Tenggara	241	185	37	2	-	1	466
Tenggara	245	193	53	3	-	-	494
Selatan Tenggara	401	422	128	17	2	3	973
Selatan	1151	1641	652	42	3	1	3490
Selatan Barat Daya	1268	2158	1062	143	-	-	4631
Barat Daya	1251	1861	1208	320	1	1	4642
Barat - Barat Daya	1030	1408	1170	405	14	1	4028
Barat	1269	1467	1344	502	8	3	4593
Barat - Barat Laut	681	505	187	130	-	-	1503
Barat Laut	711	412	61	4	1	-	1189
Utara Barat Laut	797	267	78	-	-	-	1142

Arah Angin	Data Angin						Total
	1-4 knot (f_1)	4-7 knot (f_2)	7-11 knot (f_3)	11-17 knot (f_4)	17-21 knot (f_5)	≥ 22 knot (f_6)	
Sub-Total	13642	17481	9773	1998	34	14	42942
Calm							906
Σf_i							43848

Hasil rekapitulasi data angin dari masing-masing arah tersebut kemudian digunakan untuk menghitung persentase arah angin gabungan.

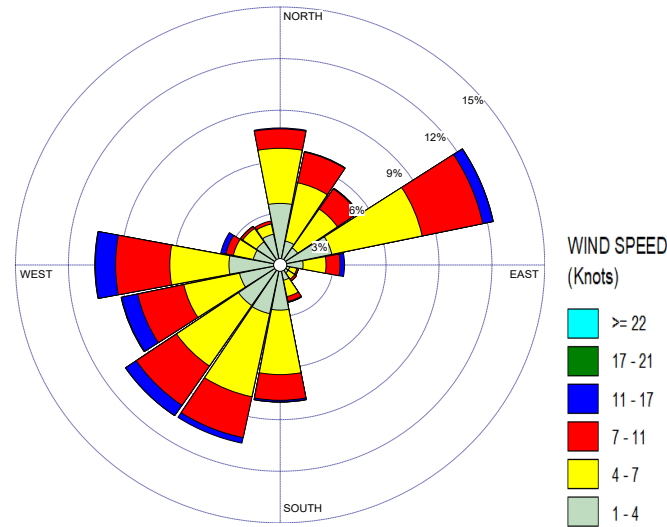
$$\% = \frac{f_1}{\Sigma f_{\text{total}}} \times 100 \quad (1)$$

Dimana: f_1 merupakan frekuensi data dan Σf_{total} merupakan total keseluruhan data selama periode waktu pengamatan, seperti pada Tabel 2 di bawah.

Tabel 2. Persentase Data Angin 5 Tahun (2020 – 2024)

Arah Angin	Kecepatan Angin (%)						Total (%)
	1-4 knot	4-7 knot	7-11 knot	11-17 knot	17-21 knot	≥ 22 knot	
Utara	3,574	3,193	1,127	0,057	-	-	7,950
Utara Timur Laut	1,414	3,453	1,813	0,039	-	0,005	6,723
Timur Laut	1,204	2,723	1,414	0,039	0,002	0,002	5,385
Timur - Timur Laut	2,990	5,214	3,508	0,588	0,009	0,002	12,311
Timur	1,302	1,296	0,789	0,258	-	-	3,644
Timur Tenggara	0,550	0,422	0,084	0,005	-	0,002	1,063
Tenggara	0,559	0,440	0,121	0,007	-	-	1,127
Selatan Tenggara	0,915	0,963	0,292	0,039	0,005	0,007	2,219
Selatan	2,625	3,743	1,487	0,096	0,007	0,002	7,959
Selatan Barat Daya	2,892	4,922	2,422	0,326	-	-	10,562
Barat Daya	2,853	4,245	2,755	0,730	0,002	0,002	10,587
Barat - Barat Daya	2,349	3,211	2,669	0,924	0,032	0,002	9,186
Barat	2,894	3,346	3,065	1,145	0,018	0,007	10,475
Barat - Barat Laut	1,553	1,152	0,427	0,297	-	-	3,428
Barat Laut	1,622	0,940	0,139	0,009	0,002	-	2,712
Utara Barat Laut	1,818	0,609	0,178	-	-	-	2,604
Sub-Total	31,112	39,867	22,288	4,557	0,078	0,032	97,934
Calm							2,066
Total							100,000

Berdasarkan tabel diatas persentase data angin selama 5 Tahun, dapat dilihat bahwa hasil persentase tertinggi terdapat pada arah angin dari Timur-Timur Laut sebesar 12,311%, sesuai diagram *Windrose* Gambar 6.



Gambar 6. Windrose Pola Angin 5 Tahun

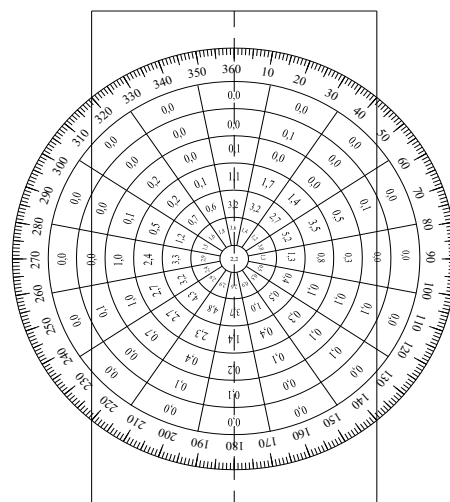
Gambar 6 diamati bahwa arah angin yang paling dominan selama lima Tahun adalah dari arah Timur-Timur Laut dengan nilai frekuensi adalah sebesar 12,311% dari total data angin periode lima Tahun. Menunjukkan bahwa selama lima Tahun periode pengamatan, angin paling sering bertiup dari arah Timur-Timur Laut dibandingkan dengan arah lainnya.

Analisis Wind Coverage

Analisis *Wind Coverage* dalam penelitian ini menggunakan data angin gabungan 5 Tahun (2020 – 2024), dibagi dalam 8 tinjauan *Runway* untuk mewakili pasangan arah berlawanan. Pendekatan ini dipilih karena efisien dan sesuai dengan format rekapitulasi yang tersedia. sektor arah angin operasional menggunakan sektor 40° terhadap sumbu *Runway*, dengan menggunakan bantuan *Software Autocad 2007* untuk menggambarkan visualisasi lingkaran mawar angin sesuai data Tabel 2.

$$\text{Wind Coverage} = \text{Angin tenang} + \text{persentase angin yang ditinjau} \tag{2}$$

a. Tinjauan Utara–Selatan (0°–180°)



Gambar 7. Mawar Angin Tinjauan Utara–Selatan

- Gambar 7 diperoleh *Wind Coverage* pada tinjauan Utara–Selatan sebesar 99,570% dan memenuhi syarat kelayakan aerodinamis dan standar keselamatan penerbangan.
- b. Tinjauan Utara Timur Laut–Selatan Barat Daya (22,5°–202,5°)
Wind Coverage pada tinjauan Utara Timur Laut–Selatan Barat Daya sebesar 99,760% dan memenuhi syarat kelayakan aerodinamis dan standar keselamatan penerbangan.
 - c. Tinjauan Timur Laut–Barat Daya (45°–225°)
Wind Coverage tinjauan Timur Laut–Barat Daya sebesar 99,755% dan memenuhi syarat kelayakan aerodinamis dan standar keselamatan penerbangan.
 - d. Tinjauan Timur-Timur Laut–Barat-Barat Daya (67,5°–247,5°)
Wind Coverage pada tinjauan Timur-Timur Laut–Barat-Barat Daya sebesar 99,830% dan memenuhi syarat kelayakan aerodinamis dan standar keselamatan penerbangan.
 - e. Tinjauan Timur–Barat (90°–270°)
Wind Coverage pada tinjauan Timur–Barat sebesar 99,801% dan memenuhi syarat kelayakan secara aerodinamis dan standar keselamatan penerbangan.
 - f. Tinjauan Timur Tenggara–Barat-Barat Laut (112,5°–292,5°)
Wind Coverage pada tinjauan Timur Tenggara–Barat-Barat Laut sebesar 99,757% dan memenuhi syarat kelayakan secara aerodinamis dan standar keselamatan penerbangan.
 - g. Tinjauan Tenggara–Barat Laut (135°–315°)
Wind Coverage pada tinjauan Timur Tenggara–Barat-Barat Laut sebesar 99,785% dan memenuhi syarat kelayakan secara aerodinamis dan standar keselamatan penerbangan.
 - h. Tinjauan Selatan Tenggara–Utara Barat Laut (157,5°–337,5°)
Wind Coverage pada tinjauan Selatan Tenggara–Utara Barat Laut sebesar 99,741% dan memenuhi syarat kelayakan secara aerodinamis dan standar keselamatan penerbangan.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Analisis *Wind Coverage*

Arah Angin	Arah Operasional Angin (°)	Persentase <i>Wind Coverage</i> (%)
Utara - Selatan	0° – 180°	99,570
Utara Timur Laut–Selatan Barat Daya	22,5° – 202,5°	99,760
Timur Laut–Barat Daya	45° – 225°	99,755
Timur Timur Laut–Barat Barat Daya	67,5° – 247,5°	99,830
Timur–Barat	90° – 270°	99,801
Timur Tenggara–Barat Barat Laut	112,5° – 292,5°	99,757
Tenggara–Barat Laut	135° – 315°	99,785
Selatan Tenggara–Utara Barat Laut	157,5° – 337,5°	99,741

Berdasarkan hasil analisis *Wind Coverage*, arah angin Timur-Timur Laut–Barat-Barat Daya dengan arah operasional angin 67,5°–247,5° dijadikan menjadi arah landasan pacu (*Runway*), hal ini dikarenakan pada arah tersebut terdapat hasil *Wind Coverage* terbesar dibandingkan dengan arah angin lainnya dan memenuhi syarat nilai *Wind Coverage* ICAO. Dengan nomor landasan yaitu nomor arah landasan pacu 67,5° dibulatkan menjadi 70° dan nomor landasan pacu 247,5° dibulatkan menjadi 250°. Sebagai perbandingan, *Runway Eksisting* Bandara Silangit memiliki orientasi 90°–270° (*Runway* 09–27), dengan nilai *Wind Coverage* sebesar 99,801%. meskipun sedikit lebih rendah dibandingkan hasil optimal analisis, orientasi *Runway Eksisting* ini tetap berada di atas ambang batas minimum kelayakan 95%, sehingga dapat disimpulkan bahwa

Runway saat ini masih tergolong layak dan aman untuk melakukan operasional penerbangan serta sesuai secara aerodinamis.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan data angin selama 5 Tahun (2020 – 2024) angin dari arah Timur-Timur Laut lebih dominan dibandingkan arah angin utama lainnya dengan persentase angin 12,311%. Analisa Wind Coverage arah angin Timur-Timur Laut memiliki nilai cakupan tertinggi 99,830% dibandingkan eksisting landasan pacu bandara Silangit 99,801%. Meskipun sedikit lebih rendah dibandingkan hasil analisis, orientasi *Runway Eksisting* ini tetap berada di atas ambang batas minimum kelayakan 95%, bahwa *Runway* masih layak dan aman untuk melakukan operasional penerbangan secara aerodinamis. Arah *Runway* 70°–250° orientasi optimal, dan dapat dipertimbangkan sebagai acuan untuk pengembangan di masa mendatang. Dan menunjukkan konsistensi pola angin dan tingkat cakupan yang memadai, maka cukup representatif untuk mendukung evaluasi arah *Runway*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Avweb. (2023). *Open-V runway configuration explained*. <https://www.avweb.com>
- [2] Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. (2024). *Data arah dan kecepatan angin Bandara Silangit tahun 2020–2024*. Stasiun Meteorologi Kelas II Silangit – BMKG.
- [3] Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. (2019). *Data stasiun cuaca dan pembagian wilayah topografi Sumatera Utara*. Stasiun Klimatologi Sumatera Utara – BMKG.
- [4] Britannica. (1999). Parallel runway configuration. *Encyclopaedia Britannica*. <https://www.britannica.com>
- [5] Fadholi, A. (2013). WRPlot View sebagai perangkat bantu analisis angin. *Jurnal Meteorologi Terapan*, 6(2), 21–30.
- [6] Federal Aviation Administration. (2012). *Standards and recommendations for airport design* (Advisory Circular AC 150/5300-13A). Washington, DC: U.S. Department of Transportation.
- [7] Horonjeff, R., & McKelvey, F. X. (1994). *Perencanaan dan perancangan bandar udara* (Edisi ketiga, Jilid 2). Jakarta: Erlangga.
- [8] International Civil Aviation Organization. (2018). *Annex 14: Aerodromes, Volume I* (8th Ed.) Montreal, Canada: ICAO.
- [9] Khattak, A. (2023). Aerodynamic effects of wind on aircraft performance. *Journal of Aviation Science*, 15(1), 60–74.
- [10] Lakes Environmental. (2020). *WRPlot View version 7.0.0 user guide*. Lakes Environmental Software.
- [11] NZ Herald. (2024). Intersecting runways and airfield design. *New Zealand Herald*. <https://www.nzherald.com>
- [12] Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia. (2013). *PM 69 Tahun 2013 tentang tatanan kebandarudaraan nasional*. Kementerian Perhubungan.
- [13] Rais, A., Nasution, F., & Ginting, R. (2019). Efek tailwind terhadap proses landing pesawat terbang. *Jurnal Transportasi Udara Indonesia*, 5(1), 45–52.
- [14] Rivai, D. (2013). *Dasar-dasar meteorologi untuk transportasi udara*. Jakarta:

- LAPAN.
- [15] Soepangkat. (1994). *Pengantar meteorologi*. Jakarta: Akademi Meteorologi dan Geofisika.
- [16] Sutanto, A. T. (2022). *Teknologi sistem AWOS di bandara Indonesia*. Jakarta: CV Meteorologi Nusantara.