Jurnal Fisika Unand (JFU)
Vol. 11, No. 4, Oktober 2022, hal. 531 – 541
ISSN: 2302-8491 (Print); 2686-2433 (Online)
https://doi.org/10.25077/jfu.11.4.531-541.2022

Open Access

Kajian Distribusi Waktu Efektif Lepas Landas di Bandara Internasional Sultan Hasanuddin Makassar

Harie Triwibowo[1*], Jasruddin[2], Muhammad Arsyad[3]
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Makassar
Jalan Daeng Tata Raya, Makassar 90224

Info Artikel

Histori Artikel:
Diajukan: 28 Juli 2022
Direvisi: 1 September 2022
Diterima: 13 Oktober 2022

Kata kunci:
Gaya Angkat
Tekanan
Temperatur
Titik Embun
Waktu Efektif

Penulis Korespondensi:
Harie Tri Wibowo
Email: harie.twb@gmail.com

ABSTRAK

Bandar udara Sultan Hasanuddin merupakan bandara Internasional yang distribusi waktu *take off* pesawat lebih dari 100 dalam satu hari. Kajian distribusi waktu efektif lepas landas dengan memandang faktor meteorologi perlu dilakukan dengan tujuan, menganalisis distribusi gaya angkat pesawat jenis Boeing B737 MG dan Airbus A320 di Bandara Internasional Sultan Hasanuddin, menganalisis korelasi tekanan, temperatur, titik embun terhadap gaya angkat pesawat, dan menganalisis pengaruh temperatur udara terhadap waktu efektif lepas landas. Data yang digunakan data metar tekanan, temperatur dan titik embun tahun 2016-2020, dengan metode *boxplot* dan korelasi. Distribusi gaya angkat pesawat memiliki pola yang sama yaitu gaya angkat menurun dari pukul 00.00 UTC hingga pukul 05.00-07.00 UTC dan kembali meningkat pukul 22.00-23.00 UTC, korelasi dan kecenderungan temperatur udara, tekanan udara dan titik embun terhadap gaya angkat pesawat menunjukkan hubungan yang kuat dan sangat kuat dengan nilai korelasi pada rentang (-0.60)-(-1.00). Korelasi antara tekanan udara dan gaya angkat menunjukkan hubungan sangat rendah dan rendah dengan korelasi 0.00-0.399. Korelasi titik embun dan gaya angkat menunjukkan hubungan yang sangat rendah hingga cukup dengan nilai korelasi rentang -0.599-0.399, dan pengaruh temperatur udara terhadap waktu efektif lepas landas menunjukkan peningkatan, membuat gaya angkat yang dibutuhkan menjadi lebih kecil, dan sebaliknya.

Keywords:
Lift-Force
Air Pressure
Air Temperature
Dew Point
Effective Time

Sultan Hasanuddin Airport is an international airport with a distribution of more than 100 *aircraft take-off times in one day, The study of the effective time distribution of takeoff at was carried out by looking at meteorological factors.This needs to be done with the aim of analyzing the distribution of analyze the distribution of the lift-force of Boeing* B737 *NG and Airbus* A320 *in Sultan Hasanuddin Airport, analyze the correlation of air pressure, air temperature, dew point to the lift-force,and analyze the correlation of air pressure, air temperature, dew point to the lift-force. The data used is metar data pressure, air temperature, and dew point for* 2016-2020*, with boxplot and correlation methods. The lift-force Boxplot has the same pattern, the lift-force decreases from* 00.00 *utc to* 05.00-07.00 *utc and increases again at* 22.00-23.00 *utc The correlation between air temperature and lifting force is in the range of (*-0.60*) to (*-1.00*). The correlation between air pressure and lifting force of* 0.00-0.399*. The correlation between the dew point and the lifting force is in the range of* -0.599–0.399*. and the tendency to change temperature with lifting force shows an inversely proportional relationship, and vice versa.*

Copyright © 2022 Author(s). All rights reserved

Commons Attribution 4.0 License

I. PENDAHULUAN

Bandar Udara Internasional Sultan Hasanuddin Makassar merupakan Bandar udara yang berada di wilayah Sulawesi Selatan yang terletak di sebagian wilayah Kota Makassar dan sebagian wilayah Kabupaten Maros berada pada daerah dengan ketinggian MDPL 47 kaki (14 m), 10,44 Nautical Miles (NM) Timur laut dari Kota Makassar. Pada tahun 2010 menjadi Bandara Internasional utama, regional, haji dan kargo. Bandara Internasional Sultan Hasanuddin berada di kabupaten Maros terletak pada 05º 03' 30,88" LS atau 119º 32' 46,58" BT dengan luas wilayah yaitu 817, 532 ha. Bandara Internasional Sultan Hasanuddin mempunyai dua landasan pacu yang pertama sepanjang 3.100 m x 45 m, dan yang kedua 2.500 m x 45 m, dioperasikan oleh PT. Angkasa Pura I . Profil meteorologi pada Bandar Udara ini mempunyai kelembaban udara rata-rata berkisar 88% hingga 91% dengan kecepatan angin 24 hingga 36 knot (BMKG,2004). Data dari otoritas bandara didapati bahwa suhu rata-rata rendah terjadi antara bulan Desember-Januari sedangkan suhu tinggi terjadi pada bulan Mei-Juni (Indriatmoko, 2017).

Operasi penerbangan secara keseluruhan wajib memperhatikan keselamatan penerbangan, keteraturan dari regulasi penerbangan dan efisiensi atau kenyamanan penerbangan. Meskipun secara aturan yang berlaku dalam dunia penerbangan, hal-hal tersebut telah menjadi perhatian bagi operator pesawat udara maupun penyelenggara layanan navigasi penerbangan, namun kerap kali kejadian-kejadian berupa hambatan atau gangguan baik secara teknis maupun yang disebabkan oleh faktor meteorologi masih sering terjadi. Gangguan meteorologi berupa pengaruh dari perubahan unsur cuaca, dalam operasional penerbangan unsur cuaca yang sangat berpotensi mempengaruhi operasional seperti temperatur udara, tekanan udara dan kondisi angin. Unsur temperatur udara dan tekanan udara nilainya berbeda untuk setiap tempat. Temperatur udara dan tekanan udara disuatu tempat selalu berubah seiring dengan perubahan waktu. Kedua unsur tersebut selalu mendapatkan perhatian yang khusus bagi dunia penerbangan. Hal ini terutama pada saat pesawat akan mengudara (*take off*) maupun pada saat mendarat (*landing*). Karena hal ini akan mempengaruhi daya angkat dari pesawat baik pada saat tinggal landas maupun pada saat menjelajah. Dengan berat *take off* yang sama, akan dibutuhkan landas pacu yang lebih panjang dan kecepatan pesawat yang lebih tinggi.

Salah satu unsur Meteorologi yang mempengaruhi adalah suhu udara (temperatur udara permukaan landas pacu) terhadap gaya angkat pesawat. Perubahan temperatur udara akan mempengaruhi perubahan tekanan udara yang berpengaruh pada kerapatan udara yang secara langsung akan berpengaruh pada operasional penerbangan terutama proses lepas landas pesawat udara. Gaya angkat/l*ift* yang diperlukan oleh pesawat udara untuk tinggal landas sangat dipengaruhi oleh kerapatan udara di bandara tersebut. Kerapatan udara tersebut dipengaruhi oleh elevasi bandara, temperatur udara permukaan, slope di bandara. Temperatur udara merupakan salah satu faktor penting diantara faktor-faktor lainnya terhadap daya kerja pesawat terbang. Pada suatu keadaan tekanan udara, dengan suhu yang tinggi akan mengakibatkan rendahnya kerapatan udara, hal ini berpengaruh terutama pada saat pesawat akan mengudara atau lepas landas (*take off*).

Pada penelitian ini penulis berusaha untuk memberikan informasi terkait distribusi waktu efektif lepas landas di bandara Internasional Sultan Hasanuddin Makassar berdasarkan perhitungan maksimum daya angkat pesawat udara saat lepas landas berdasarkan perubahan temperatur udara dan frekuensi sebaran temperatur udara harian sebagai dasar pertimbangan pengaturan *slot time* untuk keberangkatan dan beban maksimum pesawat udara.

Tekanan dan suhu udara memiliki pengaruh kuat terhadap daya angkat pesawat khususnya di Bandara Internasional Kualanamu (Saragih, Yonas, & Rinaldy, 2017). Tekanan udara memiliki nilai korelasi positif yang cukup serta suhu udara memiliki nilai korelasi negatif yang tinggi terhadap gaya angkat pesawat Fadoli (2012). Penelitian-penelitan yang dilakukan sebelumnya belum meninjau aspek *maximum take off weight* pesawat dan hanya menggunakan data bulanan. Sehingga perlu di lakukan penelitian gaya angkat pesawat berdasarkan aspek meteorologi dengan data perjam untuk pertimbangan *maximum take off weight* pesawat. Selain itu Bandar Udara Sultan Hasanuddin merupakan bandara Internasional operasioanal *take off* dan *landing* pesawat sebanyak lebih dari 100 dalam satu hari.

II. METODE

2.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Bandara Sultan Hasanuddin Makassar. Bandara ini terletak kurang lebih 30 km dari pusat kota Makassar, Sulawesi Selatan dan memiliki dua landas pacu, yang pertama seluas 3100 m x 45 m dan yang kedua seluas 2500 m x 45 m. Memiliki kode IATA (International Air Transport Assosiation) UPG dan kode ICAO (International Civil Aviation Assosiation) WAAA, Bandar Udara ini dikelola oleh PT. Angkasa Pura I Persero.



Gambar 1. Bandara Sultan Hasanuddin Makassar

2.2 Data dan Sumber Data

Data dalam penelitian ini yakni: (1) data temperatur udara, (2) data Suhu titik embun, (3) data tekanan udara untuk Kawasan Bandar Udara Internasional Sultan Hasanuddin tahun 2016-2020 yang bersumber dari Unit Pelaksana Teknis (UPT) Badan Klimatologi, Meteorologi dan Geofisika (BMKG) khususnya Stasiun Meteorologi Sultan Hasanuddin.

2.3 Analisis Data

2.3.1 Gaya angkat pesawat Boeing 373NG dan Pesawat Airbus A230

Gaya angkat pesawat dihitung dengan menggunakan persamaan

$$L = \frac{1}{2}\rho V^2 ClS \tag{1}$$

dimana L adalah gaya angkat (Newton), ρ adalah kerapatan udara (density, kg/m³), V adalah kecepatan udara (velocity, m/sec), Cl adalah koefisien lift (sec²/m), dan S adalah luas permukaan sayap (m²).

2.3.2 Korelasi dan Kecenderungan Perubahan Temperatur, Tekanan dan Titik Embun terhadap Gaya Angkat Pesawat Boeing 373NG dan Pesawat Airbus A230

Korelasi perubahan temperatur, tekanan dan titik embun terhadap gaya angkat pesawat boeing 373ng dan pesawat Airbus A230 dengan menggunakan korelasi *pearson product moment* berikut.

$$r_{xy} = \frac{\sum xy}{\sqrt{\left(\sum x^2\right) + \left(\sum y^2\right)}} \tag{2}$$

r_{xy} adalah koefisien korelasi antara variable x dan y, x adalah deviasi dari mean untuk nilai variable x, y adalah deviasi dari mean untuk nilai variable y, $\sum xy$ adalah jumlah perkalian antara nilai x dan y, x^2 adalah kuadrat dari nilai x, y^2 adalah kuadrat dari nilai y. Untuk menyatakan besar kecilnya variabel x_1 dan x_2 terhadap y maka dapat ditentukan dengan berdasarkan rumus koefisien penentu (Fadholi, 2013), dengan persamaan sebagai berikut.

$$KP = r^2.100\% \tag{3}$$

dimana KP adalah besarnya koefisien penentu determinan dan r adalah koefisien korelasi.

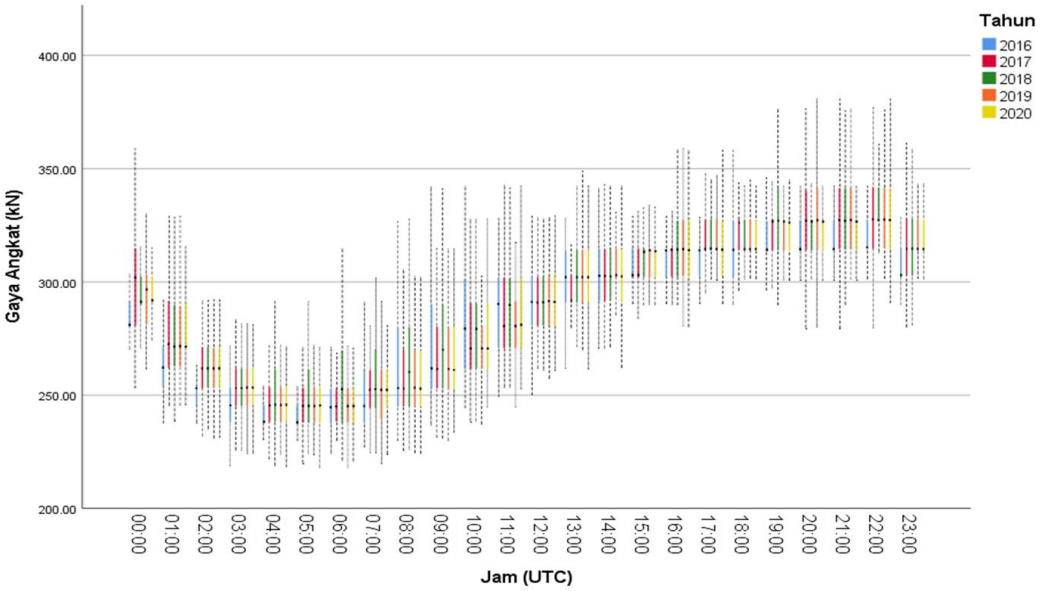
2.3.3 Pengaruh Temperatur terhadap Waktu Efektif Lepas Landas Angkat Pesawat Boeing 373NG dan Pesawat Airbus A230

Analisis pengaruh temperatur udara terhadap waktu efektif lepas landas dilakukan dengan membuat grafik hubungan antara perubahan temperatur udara terhadap gaya angkat. Analisis ini dilakukan dengan menghitung rata-rata gaya angkat yang terjadi setiap satu jam pada tahun 2016-2020.

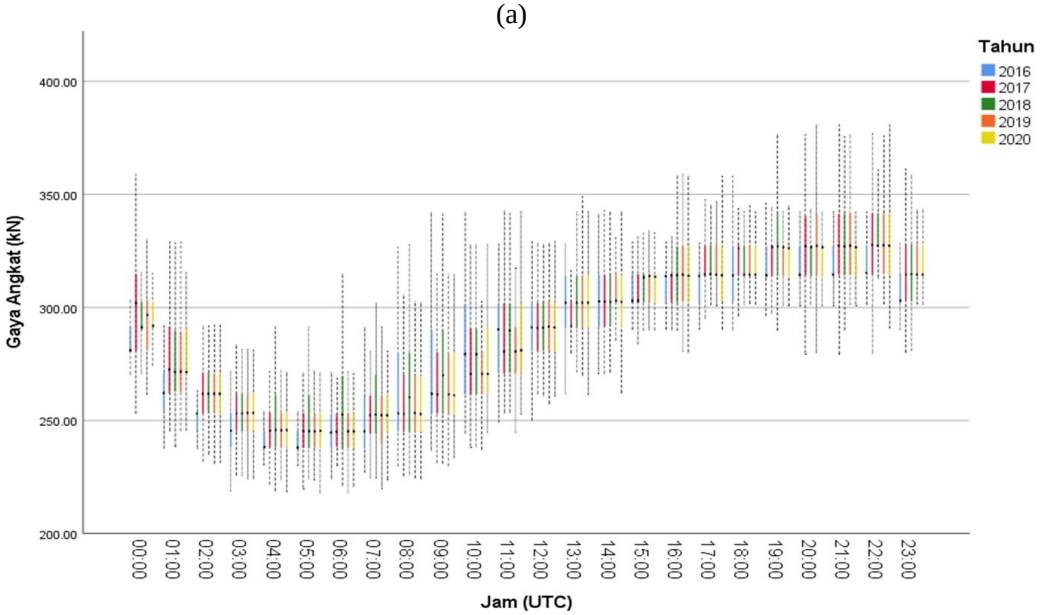
III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Distribusi Gaya Angkat terhadap Waktu Efektef Lepas Landas Pesawat Boeing 373NG dan Pesawat Airbus A230

Gaya angkat pesawat Boeing dan Airbus pada tahun 2016-2020 dianalisis dengan menggunakan SPSS berdasarkan hasil pengolahan data METAR tahun 2016-2020.



(a)



(b)

Gambar 2. Boxplot Distribusi Gaya Angkat Terhadap Waktu Efektif Lepas Landas (a) Pesawat Boeing (b) Pesawat Airbus

Gambar 2 menunjukkan distribusi gaya angkat pesawat Boeing 373NG dan Airbus A230 tahun 2016-2020. gaya angkat pada pesawat Boeing 737NG berada pada rentang 240-345 kN. Meskipun

terjadi perbedaan waktu, gaya angkat tertinggi pada tahun 2017-2020 memiliki besar yang sama yaitu 315-345kN. Gaya angkat pada pesawat Airbus A320 pada tahun 2016-2020 berada pada rentang 230-345 kN. Meskipun terjadi perbedaan waktu, gaya angkat tertinggi pada tahun 2017-2020 memiliki besar yang sama yaitu 345kN. Perubahan gaya angkat pada pesawat Boeing 737NG dan pesawat Airbus A320 bersifat fluktuatif. Hal ini terjadi kerena gaya angkat yang dihitung dipengaruhi oleh besarnya kerapatan udara akibat perbedaan temperatur udara, tekanan udara dan titik embun.

3.2 Korelasi Perubahan Temperatur, Tekanan dan Titik Embun terhadap Gaya Angkat Pesawat Boeing 373NG dan Pesawat Airbus A230

3.2.1 Korelasi Perubahan Temperatur, Tekanan dan Titik Embun terhadap Gaya Angkat Pesawat Boeing 373NG

Tabel 1 Korelasi temperatur udara terhadap gaya angakat, tekanan udara terhadap gaya angkat dan titik embun terhadap gaya angkat pesawat Boeing pada saat lepas landas.

Bulan	Temperatur udara-Gaya Angkat	Tekanan-Gaya Angkat	Titik Embun-Gaya Angkat
Januari	-0.736	0.049	-0.513
Februari	-0.875	0.312	-0.510
Maret	-0.846	0.269	0.033
April	-0.618	0.280	0.052
Mei	-0.788	0.310	0.052
Juni	-0.675	0.036	-0.209
Juli	-0.851	0.188	-0.464
Agustus	-0.738	0.325	-0.372
September	-0.900	0.231	-0.221
Oktober	-0.760	0.197	0.379
November	-0.784	0.271	0.008
Desember	-0.805	0.157	-0.400

Tabel 1. menunjukkan nilai korelasi antara temperatur udara terhadap gaya angkat, tekanan terhadap gaya angkat dan titik embun terhadap gaya angkat setiap bulan pada pesawat Boeing dari tahun 2016-2020. Korelasi antara temperatur udara dan gaya angkat menunjukkan hubungan yang kuat dan sangat kuat dengan nilai korelasi berada pada rentang (-0.60)-(-1.00). pada saat temperatur kuat tekanan udara mengalami penurunan dan berpengaruh terhadap kerapatan udara, yang mempengaruhi daya angkat pesawat. Korelasi antara tekanan udara dan gaya angkat menunjukkan hubungan yang sangat rendah dan rendah dengan nilai korelasi berada pada rentang 0.00-0.399. Korelasi antara titik embun dan gaya angkat menunjukkan hubungan yang sangat rendah hingga cukup dengan nilai korelasi berada pada rentang -0.599-0.399. Tekanan udara dan titik embun juga menentukan nilai kerapatan udara, nilai kerapatan udara yang rendah berarti mesin pesawat menghisap lebih sedikit udara yang digunakan untuk melakukan proses pembakaran yang mengakibatkan tenaga akan berkurang. Mesin propellers memeroleh lebih sedikit udara yang berpindah dibandingkan dengan kondisi normalnya, yang berakibat pada daya dorong pesawat akan berkurang dan pada mesin jet massa gas yang keluar akan lebih sedikit (Saragih, 2017).

Tabel 2. menunjukkan nilai korelasi dan koefisien penentu dari korelasi antara temperatur udara, tekanan udara dan titik embun terhadap gaya angkat pesawat Boeing tahun setiap bulan tahun 2016-2020. Berdasarkan nilai korelasi ketiga variabel secara bersama-sama mempengaruhi gaya angkat secara signifikan dengan nilai korelasi berada pada rentang 0.60-1.00. Nilai koefisien penentu berada pada rentang 40% sampai 80% dengan korelasi terendah terjadi pada bulan April. Hal ini terjadi bahwa tekanan udara mempengaruhi suhu udara dan titik embun yang membuat perubahan signifikan pada kerapatan udara yag berpengaruh terhadap kinerja pesawat pada saat akan melakukan *take off*.

Tabel 2 Nilai korelasi temperatur udara, tekanan udara dan titik embun terhadap gaya angkat pesawat Boeing pada saat lepas landas.

Bulan	Nilai Korelasi	Koefisien Penentu
Januari	0.754	0.569
Februari	0.878	0.771
Maret	0.872	0.760
April	0.660	0.436
Mei	0.829	0.688
Juni	0.682	0.466
Juli	0.865	0.748
Agustus	0.779	0.607
September	0.908	0.824
Oktober	0.763	0.583
November	0.804	0.646
Desember	0.806	0.649

3.2.2 Korelasi Perubahan Temperatur, Tekanan dan Titik Embun terhadap Gaya Angkat Pesawat Airbus A320

Tabel 3 Korelasi temperatur udara terhadap gaya angkat, tekanan udara terhadap gaya angkat dan titik embun terhadap gaya angkat pada pesawat Airbus saat lepas landas.

Bulan	Temperatur udara-Gaya Angkat	Tekanan-Gaya Angkat	Titik Embun-Gaya Angkat
Januari	-0.736	0.050	-0.511
Februari	-0.875	0.312	-0.510
Maret	-0.846	0.269	0.033
April	-0.618	0.280	0.052
Mei	-0.788	0.310	0.052
Juni	-0.675	0.036	-0.209
Juli	-0.851	0.188	-0.464
Agustus	-0.738	0.325	-0.372
September	-0.900	0.231	-0.221
Oktober	-0.760	0.197	0.379
November	-0.784	0.271	0.008
Desember	-0.805	0.157	-0.400

Tabel 3 menunjukkan nilai korelasi antara temperatur udara terhadap gaya angkat, tekanan terhadap gaya angkat dan titik embun terhadap gaya angkat setiap bulan pada pesawat Airbus dari tahun 2016-2020. Korelasi antara temperatur udara dan gaya angkat menunjukkan hubungan yang kuat dan sangat kuat dengan nilai korelasi berada pada rentang (-0.60)-(-1.00). Korelasi antara tekanan udara dan gaya angkat menunjukkan hubungan yang sangat rendah dan rendah dengan nilai korelasi berada pada rentang 0.00-0.399. Korelasi antara titik embun dan gaya angkat menunjukkan hubungan yang sangat rendah hingga cukup dengan nilai korelasi berada pada rentang -0.599-0.399. Pada saat temperatur kuat tekanan udara mengalami penurunan dan berpengaruh terhadap kerapatan udara, yang mempengaruhi daya angkat pesawat, begitu juga sebaliknya untuk titik embun.

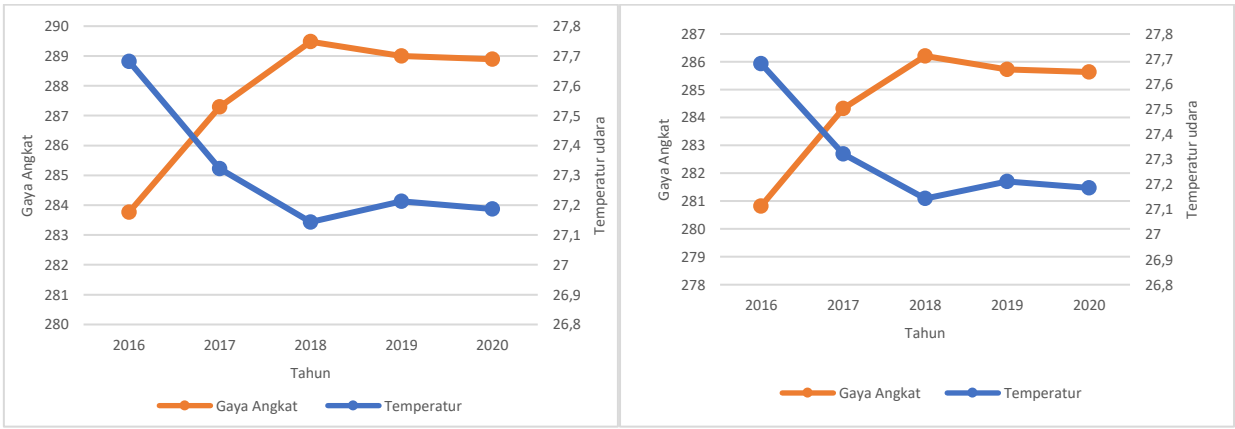
Tabel 4. Nilai korelasi temperatur udara, tekanan udara dan titik embun terhadap gaya angkat pada pesawat Airbus saat lepas landas

Bulan	Nilai Korelasi	Koefisien Penentu
Januari	0.754	0.569
Februari	0.878	0.771
Maret	0.872	0.760
April	0.660	0.436
Mei	0.829	0.688
Juni	0.682	0.466
Juli	0.865	0.748
Agustus	0.779	0.607
September	0.908	0.821
Oktober	0.763	0.583
November	0.804	0.646
Desember	0.806	0.649

Tabel 4 menunjukkan nilai korelasi dan koefisien penentu dari korelasi antara temperatur udara, tekanan udara dan titik embun terhadap gaya angkat pesawat Airbus tahun setiap bulan tahun 2016-2020. Berdasarkan nilai korelasi ketiga variabel secara bersama-sama mempengaruhi gaya angkat secara signifikan dengan nilai korelasi berada pada rentang 0.60-1.00. Nilai koefisien penentu berada pada rentang 40% sampai 80% dengan korelasi terendah terjadi pada bulan April. Hubungan yang terjadi bersifat tinggi karena tekanan udara mempengaruhi suhu udara dan titik embun yang membuat perubahan signifikan pada kerapatan udara yag berpengaruh terhadap kinerha pesawat pada saat akan melakukan *take off*.

3.3 Kecenderungan Perubahan Temperatur, Tekanan dan Titik Embun terhadap Gaya Angkat Pesawat Boeing 373NG dan Pesawat Airbus A230

3.3.1 Kecenderungan Perubahan Temperatur terhadap Gaya Angkat Pesawat Boeing 373NG dan Pesawat Airbus A320



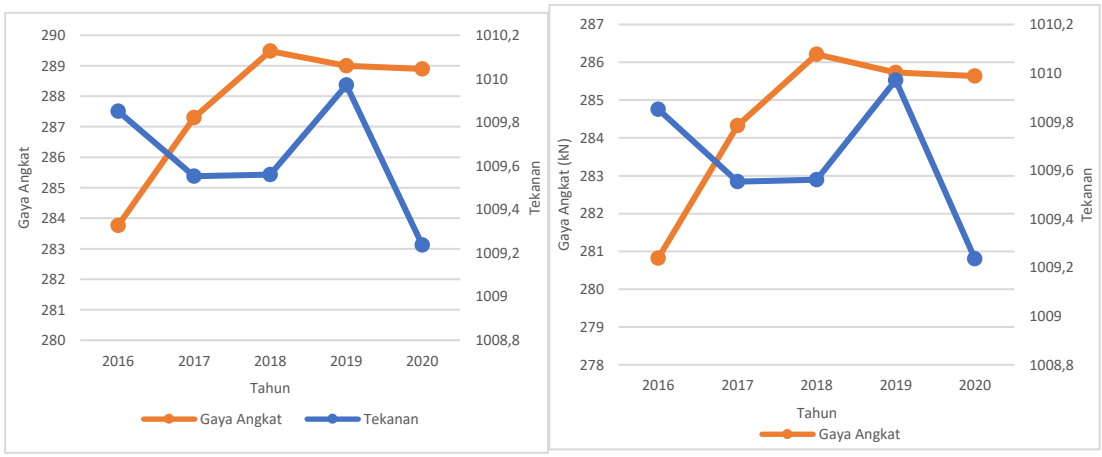
(a) (b)

Gambar 3. Kecenderungan Perubahan Temperatur Udara terhadap Gaya Angkat Pesawat (a) Boeing 373NG (b) Airbus tahun 2016-2020

Kecenderungan perubahan temperatur udara terhadap gaya angkat pesawat Boeing 373NG dan Airbus A320 pada tahun 2016-2020 dianalisis berdasarkan tren perubahan gaya angkat rata-rata akibat perubahan temperatur udara rata-rata. Perubahan temperatur udara berbanding terbalik dengan gaya angkat pesawat (Gambar 3(a)). Gaya angkat pesawat meningkat seiring dengan naiknya temperatur udara dan demikian pula sebaliknya. Gaya angkat rata-rata paling kecil terjadi pada tahun 2016 yaitu 283,8kN dengan rata-rata temperatur udara sebesar 27,7^{o} dan gaya angkat rata-rata paling tinggi terjadi pada tahun 2018 yaitu 289,5kN dengan temperatur udara rata-rata sebesar 27,15^{o}. Kecenderungan perubahan temperatur udara terhadap gaya angkat pada pesawat Airbus juga menunjukkan hasil yang

sama (Gambar 3(b)). Temperatur udara rata-rata tahun 2016 yaitu 27,7º merupakan temperatur udara rata-rata paling tinggi dalam rentang 4 tahun. Temperatur udara rata-rata tahun 2018 yaitu 27,1º merupakan rata-rata temperatur udara paling rendah dalam rentang waktu 4 tahun. Gaya angkat rata-rata paling kecil terjadi pada tahun 2016 yaitu 280,2 kN dengan rata-rata temperatur udara sebesar 27,7º dan gaya angkat rata-rata paling tinggi terjadi pada tahun 2018 yaitu 286,2 kN dengan temperatur udara rata-rata sebesar 27,1º.

3.3.2 Kecenderungan Perubahan Tekanan terhadap Gaya Angkat Pesawat Boeing 373NG dan Pesawat Airbus A320

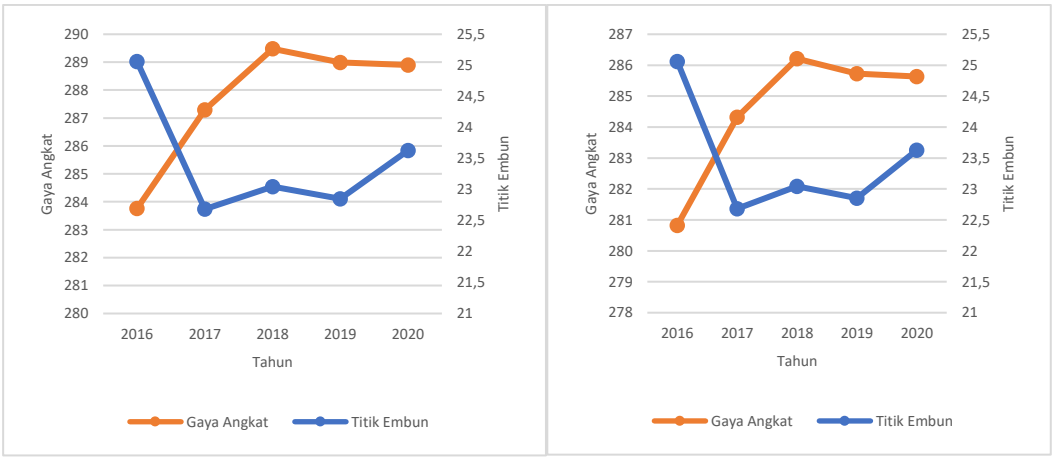


(a) (b)

Gambar 4. Kecenderungan Perubahan Tekanan Udara terhadap Gaya Angkat Pesawat (a) Boeing 373NG (b) Airbus tahun 2016-2020

Perubahan tekanan pada Gambar 4 terlihat bersifat fluktuatif. Gambar 4(a) menunjukkan rata-rata tekanan pada pesawat Boeing 737NG. Tekanan paling tinggi terjadi pada tahun 2019 sebesar 1010 Hpa dan paling rendah pada tahun 2020 sebesar 1009,2 Hpa. Kondisi ini tidak diikuti oleh rata-rata perubahan gaya angkat, dimana gaya rata-rata gaya angkat paling tinggi terjadi pada tahun 2018 sebesar 289,5 kN dengan tekanan sebesar 1009,6 Hpa. Gambar 4(b) menunjukkan rata-rata tekanan pada pesawat Airbus A320. Rata-rata gaya angkat paling rendah terjadi pada tahun 2016 sebesar 283,8 kN dengan tekanan sebesar 1009,9 kN. Rata-rata tekanan paling tinggi terjadi pada tahun 2019 sebesar 1010 Hpa dengan rata-rata gaya angkat sebesar 285,7 kN dan paling rendah pada tahun 2020 sebesar 1009,2 Hpa dengan rata-rata gaya angkat sebesar 285,6 kN. Kondisi ini tidak diikuti oleh rata-rata perubahan gaya angkat, dimana gaya rata-rata gaya angkat paling tinggi terjadi pada tahun 2018 sebesar 286,2 kN dengan tekanan sebesar 1009,6 Hpa. Rata-rata gaya angkat paling rendah terjadi pada tahun 2016 sebesar 280,2 kN dengan tekanan sebesar 1009,9 kN. Pada tahun 2016 terdapat fenomena cuaca yang mempengaruhi gaya angkat pesawat di Bandara Hasanuddin, terjadinya kemarau panjang yang menyebabkan perubahan tekanan, suhu, dan titik embun.

Kecenderungan Perubahan Titik Embun terhadap Gaya Angkat Pesawat Boeing 373NG dan Pesawat Airbus A320. Kecenderungan perubahan titik embun terhadap gaya angkat pada pesawat Boeing 373NG Airbus A320 terlihat pada Gambar 5. Perubahan rata-rata tekanan setiap tahun bersifat fluktuatif. Untuk pesawat Boeing 373NG (Gambar 5(a)) rata-rata titik embun paling tinggi terjadi pada tahun 2016 sebesar 25º dan paling rendah pada tahun 2017 sebesar 22,6º. Kondisi ini tidak diikuti oleh rata-rata perubahan gaya angkat, dimana gaya rata-rata gaya angkat paling tinggi terjadi pada tahun 2018 sebesar 289,5 kN dengan titik embun sebesar 23º. Rata-rata gaya angkat paling rendah terjadi pada tahun 2016 sebesar 283,8 kN dengan titik embun sebesar 25º. Untu pesawat Airbus A320 (Gambar 5(b)) rata-rata titik embun paling tinggi terjadi pada tahun 2016 sebesar 25º dengan rata-rata gaya angkat sebesar 280 kN dan paling rendah pada tahun 2017 sebesar 24,6º dengan rata-rata gaya angkat sebesar 284,3 kN. Kondisi ini tidak diikuti oleh rata-rata perubahan gaya angkat, dimana gaya rata-rata gaya angkat paling tinggi terjadi pada tahun 2018 sebesar 286,2 kN dengan titik embun sebesar 23º. Rata-rata gaya angkat paling rendah terjadi pada tahun 2016 sebesar 280,2 kN dengan tekanan sebesar 25º.



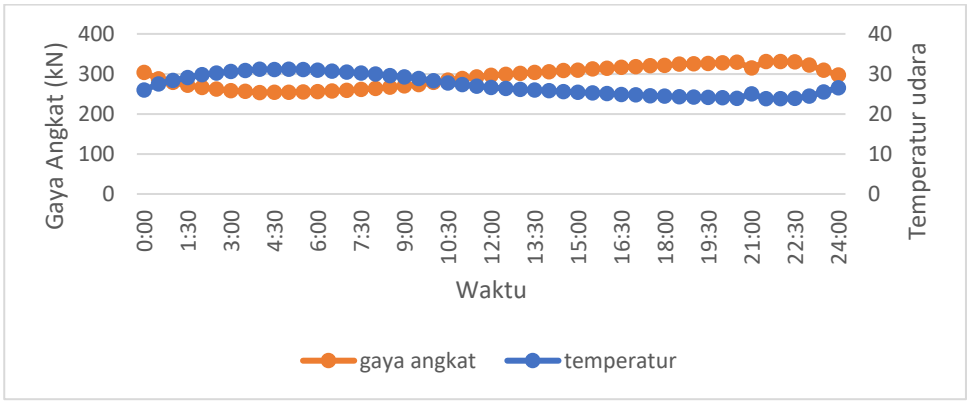
(a) (b)

Gambar 5. Kecenderungan Perubahan Titik Embun terhadap Gaya Angkat Pesawat (a) Boeing 373NG (b) Airbus A320 tahun 2016-2020

3.4 Pengaruh Temperatur terhadap Waktu Efektif Lepas Landas Angkat Pesawat Boeing 373NG dan Pesawat Airbus A230

Hasil analisis kecenderungan perubahan temperatur udara, tekanan dan tititk embun terhadap gaya angkat pesawat Boeing dan Airbus menunjukkan bahwa, hanya perubahan temperatur udara memiliki dampak langsung terhadap gaya angkat pesawat. Sehingga pengaruh perubahan temperatur udara terhadap gaya angkat dianalisis untuk memperoleh waktu efektif lepas landas bagi pesawat Boeing dan Airbus.

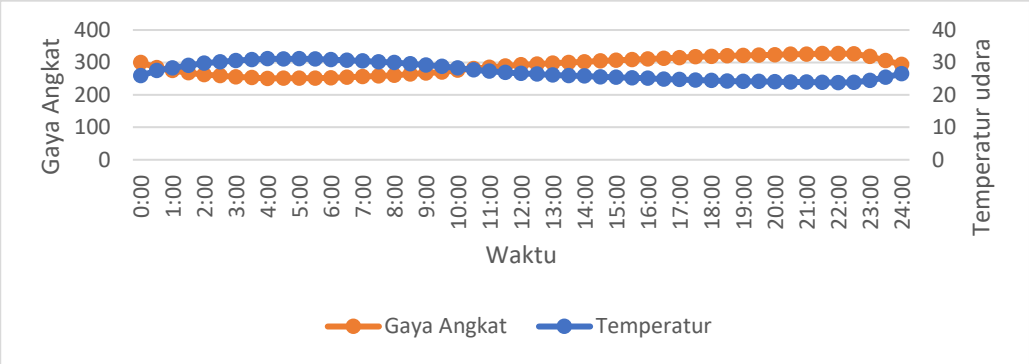
3.4.1 Pengaruh Temperatur terhadap Waktu Efektif Lepas Landas Angkat Pesawat Boeing 373NG



Gambar 6. Pengaruh temperatur udara terhadap waktu efektif lepas landas pesawat Boeing 737-800

Berdasarkan Gambar 6 perubahan temperatur udara setiap jam berpengaruh secara signifikan terhadap gaya angkat pesawat Boeing. Temperatur udara rata-rata berada pada rentang 23^{o}-33^{o} dengan gaya angkat rata-rata 254 kN-332 kN. Temperatur udara yang meningkat membuat gaya angkat yang dibutuhkan menjadi lebih kecil, sebaliknya temperatur udara yang menurun membutuhkan gaya angkat pesawat yang lebih besar.

3.4.2 Pengaruh Temperatur terhadap Waktu Efektif Lepas Landas Angkat Pesawat Airbus A320



Gambar 7. Pengaruh temperatur udara terhadap waktu efektif lepas landas pesawat Airbus A320

Berdasarkan Gambar 7 perubahan temperatur udara setiap jam berpengaruh secara signifikan terhadap gaya angkat pesawat Airbus. Temperatur udara yang meningkat membuat gaya angkat yang dibutuhkan menjadi lebih kecil, sebaliknya temperatur udara yang menurun membutuhkan gaya angkat pesawat yang lebih besar. Temperatur udara rata-rata berada pada rentang 23^{o}-33^{o} dengan gaya angkat rata-rata 251 kN-328 kN. Dengan mempertimbangkan pengaruh perubahan temperatur udara terhadap gaya angkat yang dibutuhkan oleh pesawat Boeing, maka informasi temperatur udara yang akurat akan sangat dibutuhkan dalam proses penerbangan.

IV. KESIMPULAN

Distribusi gaya angkat pesawat jenis Boeing dan pesawat jenis Airbus di Bandara Sultan Hasanuddin Makassar tahun 2016-2020 memiliki pola yang sama yaitu gaya angkat menurun dari pukul Korelasi dan kecenderungan temperatur udara, tekanan udara dan titik embun terhadap gaya angkat pesawat jenis Boeing dan Airbus dalam operasi penerbangan di Bandara Internasional Sultan Hasanuddin Makassar tahun 2016-2020 menunjukkan hubungan yang kuat dan sangat kuat dengan nilai korelasi berada pada rentang (-0.60)-(-1.00). Korelasi antara tekanan udara dan gaya angkat menunjukkan hubungan yang sangat rendah dan rendah dengan nilai korelasi berada pada rentang 0.00-0.399. Korelasi antara titik embun dan gaya angkat menunjukkan hubungan yang sangat rendah hingga cukup dengan nilai korelasi berada pada rentang -0.599-0.399. Pengaruh temperatur udara terhadap waktu efektif lepas landas terhadap pesawat jenis Boeing dan Airbus di Bandara Internasional Sultan Hasanuddin Makassar menunjukkan temperatur udara yang meningkat membuat gaya angkat yang dibutuhkan menjadi lebih kecil, sebaliknya temperatur udara yang menurun membutuhkan gaya angkat pesawat yang lebih besar. Dengan mempertimbangkan pengaruh perubahan temperatur udara terhadap gaya angkat yang dibutuhkan oleh pesawat Boeing, maka informasi temperatur udara yang akurat akan sangat dibutuhkan dalam proses penerbangan.ucapan terima kasih

DAFTAR PUSTAKA

Andrews, Dafid G. 2010. An introduction to atmospheric physics. Cambridge. Cambridge University Press

BMKG, 2004, *Buletin Cuaca-November 2014*

Fadloli, A. 2013. Studi Pengaruh Suhu dan Tekanan Udara terhadap Daya Angkat Pesawat di Bandara S. Babullah Ternate. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika. Vol. 1, No. 2 Juli 2013.*

Fraenkel, J. R., Wallen, N. E., & Hyun, H. H. 2012. How to design and evaluate research in education. In McGrow-Hill.

Handoyo, S. dan Sudibyo, D. 2010. *Aviapedia Ensiklopedia Umum Penerbangan*. Jakarta: PT Kompas Media Nusantara

http://bandaraonline.com/ airport/profil-bandara-internasional-sultan hasanuddin

Indriatmoko, R,H. Wahyu Purwanta.2017. Perubahan Lingkungan dan Strategi Adaptasi Dampak Perubahan iklim di Bandar Udara Hasanuddin, Makassar. *Jurnal Teknologi Lingkungan Vol. 18, No 1, Januari 2017, 80-87*

Lakitan, B. 1997. *Dasar-dasar Klimatolog*. Jakarta: Raja Grafindo Persada

Lubis, M. Mirsal. 2012. Analisis Aerodinamika Arfoil NACA 2412 pada Sayap Pesawat Model Tipe Glider dengan Menggunakan Software Berbasis Computional Fluid Dinamic untuk Memperoleh Gaya Angkat Maksimum. *Jurnal EDinamis, Vol. II. No. 2 September 2012*

Nastain, & Suroso. 2005. *Mekanika fluida*.

Peraturan Pemerintah Perhubungan Repoblik Indonesia. 2019.

Putra, I. D. G. A. 2020. Variasi Suhu Udara, Suhu Titik Embun, dan Tekanan Udara Terhadap Gaya Angkat Pesawat di Bandara Supadio Pontianak Tahun 2016. *Megasains, 11(01), 20–23.*

Riduwan, 1997. *Dasar–Dasar Statistika*, Alfabeta. Bandung.

Saputra, A D., Imam Muthohar, Sigit Priyanto, Magda Bhinnety. 2015. Pengaruh Cuaca Penerbangan terhadap Beban Kerja Mental Pilot. *Jurnal Transportasi Vol. 15 No. 3 Desember 2015: 159-168*

Saragih, I. J. A., Yonas, B. W., & Rinaldy, N. 2017. Studi Pengaruh Suhu Dan Tekanan Udara Terhadap Operasi Penerbangan Di Bandara Internasional Kualanamu. *Prosiding Seminar Nasional Fisika E-Journal, 6, SNF2017-EPA.*

Soepangkat. 1994. *Pengantar Meteorologi. Jakarta*: Badan Pendidkan dan Latihan Meteorologi dan Geofisika.

Soeyitno & Soeharsono.1981. *Meteorologi Penerbangan.* Jakarta: Badan Diklat Meteorologi dan Geofisika.

Swarinoto, Y. dan Widiastuti, M. 2003. Uji Statistika Terhadap Persamaan Eksperimental Untuk Menghitung Nilai Suhu Udara Permukaan Rata-rata Harian, *Jurnal Meteorologi dan Geofisika Vol 3. No.3 Juli-September*

Wallace, Jhon M. Hobbs, Peter V. 2006. Atmospheric science an introductory survey. *Elsevier.*

Winal. 2014. https://winalmuslim.files.wordpress.com/2014/02/korelasi-pearson.pdf