

## Analisis Jangkauan Pesawat Menurut Karakteristik *Runway* Bandara Di Sumatera Utara

Josua Jefferson<sup>1\*</sup>, Freddy Franciscus<sup>1</sup>, Mufti Arifin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarma  
Jl. Protokol Halim Perdanakusuma-Jakarta Timur,  
Jakarta.

---

### Info Artikel

#### *Histori Artikel:*

Diajukan: Maret 2025  
Direvisi: Juni 2026  
Diterima: Juni 2026

---

#### *Kata kunci:*

Karakteristik *runway*, Jangkauan Pesawat, Sumatera Utara, Bandara

---

#### *Keywords:*

*Runway Characteristics, Aircraft Range, North Sumatra, Airports*

---

#### *Penulis Korespondensi:*

Josua Jefferson  
Email:  
[josuajefferson28@gmail.com](mailto:josuajefferson28@gmail.com)

---

### ABSTRAK

Karakteristik runway merupakan salah satu faktor yang memengaruhi kemampuan operasional pesawat, terutama dalam menentukan jangkauan penerbangan yang dapat dicapai. Perbedaan panjang, lebar, kekuatan perkerasan landasan (Pavement Classification Number/PCN), serta kondisi lingkungan seperti temperatur, elevasi, dan kemiringan runway menyebabkan setiap bandara memiliki kemampuan yang berbeda dalam melayani berbagai tipe pesawat. Penelitian ini bertujuan menganalisis jangkauan pesawat berdasarkan karakteristik runway pada delapan bandara di Provinsi Sumatera Utara. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif dengan memanfaatkan data sekunder berupa spesifikasi runway dan karakteristik teknis pesawat. Analisis dilakukan melalui koreksi panjang runway terhadap faktor temperatur, elevasi, dan kemiringan, evaluasi kesesuaian nilai Aircraft Classification Number (ACN) terhadap PCN, penyesuaian beban operasi pesawat, serta perhitungan jangkauan menggunakan Persamaan Breguet. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bandara dengan panjang runway dan nilai PCN yang lebih tinggi mampu melayani pesawat dengan jangkauan yang lebih besar tanpa memerlukan pengurangan beban yang signifikan. Bandara Sisingamangaraja XII mengalami pengurangan panjang runway efektif terbesar sebesar 44,50% akibat pengaruh elevasi, sehingga membatasi operasional beberapa jenis pesawat. Cessna 208B merupakan satu-satunya pesawat yang dapat beroperasi di seluruh bandara yang ditinjau tanpa penyesuaian beban. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi pengelola bandar udara dan maskapai penerbangan dalam menentukan kesesuaian tipe pesawat serta mendukung perencanaan pengembangan infrastruktur bandar udara di Sumatera Utara.

---

*Runway characteristics are among the primary factors affecting aircraft operational capability, particularly the achievable flight range. Differences in runway length, width, Pavement Classification Number (PCN), and environmental conditions, including temperature, elevation, and runway slope, result in varying operational capacities among airports. This study aims to analyze aircraft range based on runway characteristics at eight airports in North Sumatra Province. A descriptive quantitative approach was employed using secondary data consisting of runway specifications and aircraft technical characteristics. The analysis included runway length correction for temperature, elevation, and slope, evaluation of Aircraft Classification Number (ACN) against PCN, aircraft weight adjustment, and aircraft range calculation using the Breguet Range Equation. The results indicate that airports with longer runways and higher PCN values are capable of accommodating aircraft with greater operational range without significant payload reduction. Sisingamangaraja XII Airport experienced the greatest effective runway reduction of 44.50% due to its higher elevation, limiting the operation of several aircraft types. The Cessna 208B was identified as the only aircraft capable of operating at all observed airports without payload adjustment. The findings are expected to provide useful information for airport authorities and airline operators in determining aircraft suitability and supporting future airport infrastructure planning in North Sumatra.*

---

## I. PENDAHULUAN

Transportasi udara merupakan salah satu moda transportasi yang memiliki peran penting dalam mendukung konektivitas antarwilayah, terutama di negara kepulauan seperti Indonesia. Keberadaan bandar udara tidak hanya berfungsi sebagai simpul transportasi, tetapi juga berperan dalam mendukung pertumbuhan ekonomi, pengembangan pariwisata, distribusi logistik, serta pemerataan pembangunan antarwilayah. Meningkatnya mobilitas masyarakat dan kebutuhan distribusi barang menyebabkan bandar udara dituntut mampu melayani operasi berbagai jenis pesawat secara aman, efisien, dan berkelanjutan. Oleh karena itu, kesiapan infrastruktur sisi udara, khususnya runway, menjadi salah satu faktor utama yang menentukan keberhasilan operasional suatu bandar udara [1], [2].

Runway merupakan fasilitas utama bandar udara yang digunakan sebagai area lepas landas dan pendaratan pesawat. Menurut International Civil Aviation Organization (ICAO), karakteristik runway meliputi panjang, lebar, kekuatan perkerasan (Pavement Classification Number atau PCN), serta kondisi lingkungan seperti temperatur, elevasi, dan kemiringan landasan. Seluruh parameter tersebut berpengaruh terhadap performa pesawat, terutama pada fase take-off, karena memengaruhi kebutuhan panjang landasan (Aeroplane Reference Field Length atau ARFL) dan kemampuan pesawat membawa muatan maupun bahan bakar [1], [4], [5]. Selain itu, kesesuaian antara nilai Aircraft Classification Number (ACN) dan PCN juga menjadi persyaratan penting untuk menjamin bahwa struktur runway mampu menerima beban pesawat tanpa menimbulkan kerusakan pada perkerasan landasan [5], [6].

Provinsi Sumatera Utara memiliki beberapa bandar udara dengan karakteristik runway yang beragam, mulai dari Bandara Internasional Kualanamu yang melayani penerbangan domestik dan internasional hingga bandara-bandara perintis seperti Bandara Sibisa, Bandara Lasondre, dan Bandara Sisingamangaraja XII. Perbedaan panjang runway, nilai PCN, elevasi, serta kondisi lingkungan pada masing-masing bandara menyebabkan kemampuan operasional pesawat yang dapat dilayani juga berbeda. Pada beberapa bandara, keterbatasan karakteristik runway mengharuskan pesawat melakukan penyesuaian beban (payload restriction) agar tetap memenuhi persyaratan keselamatan saat lepas landas. Kondisi tersebut secara langsung akan memengaruhi jangkauan penerbangan yang dapat dicapai oleh pesawat.

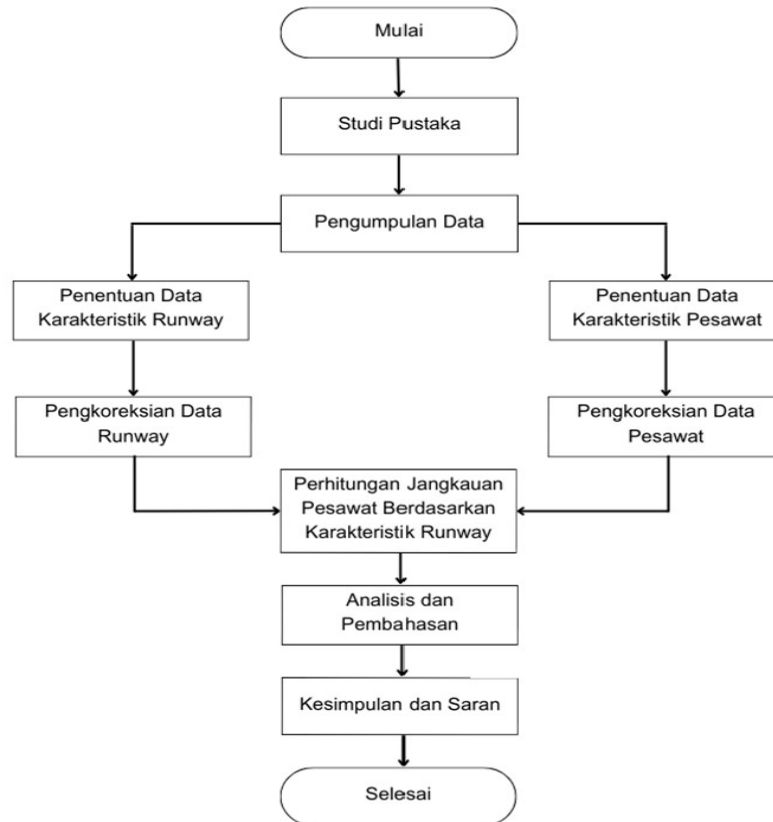
Beberapa penelitian terdahulu telah membahas evaluasi karakteristik runway, analisis performa pesawat terhadap panjang landasan, maupun pengaruh faktor lingkungan terhadap kebutuhan take-off distance. Namun, sebagian besar penelitian tersebut hanya berfokus pada satu bandar udara atau satu jenis pesawat tertentu. Penelitian yang mengintegrasikan karakteristik fisik runway, nilai PCN, faktor koreksi lingkungan, penyesuaian beban operasi pesawat, dan jangkauan penerbangan pada beberapa bandar udara dalam satu wilayah masih relatif terbatas. Akibatnya, informasi mengenai kemampuan operasional berbagai tipe pesawat pada bandara-bandara dengan karakteristik runway yang berbeda belum tersedia secara komprehensif [11], [12], [15].

Berdasarkan kondisi tersebut, diperlukan suatu analisis yang mampu mengevaluasi hubungan antara karakteristik runway dengan kemampuan operasi pesawat pada beberapa bandar udara di Provinsi Sumatera Utara. Analisis ini diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai keterbatasan operasional masing-masing bandar udara, jenis pesawat yang sesuai untuk dioperasikan, serta pengaruh karakteristik runway terhadap jangkauan penerbangan yang dapat dicapai. Informasi tersebut dapat dimanfaatkan sebagai bahan pertimbangan bagi pengelola bandar udara, maskapai penerbangan, maupun pemerintah dalam mendukung pengembangan infrastruktur transportasi udara secara lebih efektif.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis jangkauan pesawat berdasarkan karakteristik runway pada delapan bandar udara di Provinsi Sumatera Utara dengan mempertimbangkan panjang dan lebar runway, nilai Pavement Classification Number (PCN), serta faktor koreksi lingkungan yang meliputi temperatur, elevasi, dan kemiringan runway. Analisis dilakukan melalui evaluasi kesesuaian karakteristik runway terhadap spesifikasi teknis beberapa tipe pesawat yang umum beroperasi di Indonesia sehingga diperoleh gambaran mengenai kemampuan operasional dan jangkauan penerbangan pada masing-

masing bandar udara. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi referensi dalam mendukung perencanaan pengembangan bandar udara serta optimalisasi operasi penerbangan sesuai karakteristik infrastruktur yang tersedia.

## II. METODE PENELITIAN



**Gambar 2.1** *Flowchart* Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan pendekatan deskriptif yang bertujuan untuk menganalisis pengaruh karakteristik runway terhadap jangkauan operasional pesawat pada beberapa bandar udara di Provinsi Sumatera Utara. Analisis dilakukan menggunakan data sekunder yang diperoleh dari berbagai dokumen teknis penerbangan dan spesifikasi pesawat yang dipublikasikan oleh instansi maupun produsen pesawat.

Objek penelitian terdiri atas delapan bandar udara di Provinsi Sumatera Utara, yaitu Bandara Internasional Kualanamu, Bandara Sisingamangaraja XII, Bandara Binaka, Bandara Dr. Ferdinand Lumban Tobing, Bandara Lasondre, Bandara Jenderal Besar Abdul Haris Nasution, Bandara Aek Godang, dan Bandara Sibisa. Pemilihan bandara tersebut didasarkan pada perbedaan karakteristik runway sehingga dapat menggambarkan variasi kemampuan operasional bandar udara di Provinsi Sumatera Utara [7], [8], [9].

Data yang digunakan dalam penelitian meliputi spesifikasi runway berupa panjang, lebar, nilai Pavement Classification Number (PCN), temperatur referensi, elevasi, dan kemiringan runway [1], [3], [4]. Selain itu digunakan pula data karakteristik pesawat berupa Aeroplane Reference Field Length (ARFL), Maximum Take-Off Weight (MTOW), Aircraft Classification Number (ACN), kecepatan jelajah (cruise speed), specific fuel consumption (SFC), lift coefficient (CL), drag coefficient (CD), serta spesifikasi teknis lainnya. Data diperoleh dari publikasi Direktorat Jenderal Perhubungan Udara, ICAO, FAA, Airbus, Boeing, ATR, dan dokumen teknis lain yang relevan.

Tahapan penelitian diawali dengan studi pustaka untuk memperoleh dasar teori mengenai karakteristik runway, klasifikasi pesawat, dan metode analisis performa pesawat. Selanjutnya dilakukan pengumpulan data karakteristik runway dan spesifikasi pesawat. Data runway kemudian dikoreksi terhadap faktor temperatur, elevasi, dan kemiringan untuk memperoleh panjang runway efektif (Aeroplane Reference Field Length). Koreksi tersebut diperlukan karena perubahan kondisi lingkungan memengaruhi performa lepas landas pesawat sehingga kebutuhan panjang runway dapat berubah [4], [12].

Tahap berikutnya adalah mengevaluasi kesesuaian antara nilai Aircraft Classification Number (ACN) dengan Pavement Classification Number (PCN) pada masing-masing runway. Apabila nilai ACN pesawat melebihi nilai PCN runway, dilakukan penyesuaian beban operasi pesawat sehingga memenuhi kemampuan struktur perkerasan runway. Berat operasi hasil penyesuaian kemudian digunakan untuk menghitung kembali kebutuhan panjang runway (adjusted ARFL) serta menentukan jangkauan pesawat menggunakan Persamaan Breguet [5], [6], [10].

Hasil seluruh perhitungan selanjutnya dianalisis untuk mengetahui pengaruh karakteristik runway terhadap kemampuan operasi berbagai tipe pesawat pada setiap bandar udara di Provinsi Sumatera Utara. Tahapan penelitian secara keseluruhan ditunjukkan pada **Gambar 2.1**.

### III. HASIL DAN DISKUSI

#### 3.1 Karakteristik Runway bandara di Sumatera Utara

Karakteristik runway merupakan salah satu faktor utama yang menentukan kemampuan operasional suatu bandar udara dalam melayani berbagai jenis pesawat. Parameter seperti panjang runway, lebar runway, nilai *Pavement Classification Number* (PCN), elevasi, temperatur, dan kemiringan runway memengaruhi kebutuhan panjang landasan saat proses lepas landas maupun pendaratan. Semakin baik karakteristik runway yang dimiliki suatu bandar udara, semakin besar pula peluang bandara tersebut untuk melayani pesawat dengan kapasitas angkut dan jangkauan penerbangan yang lebih tinggi.

Data karakteristik runway pada delapan bandar udara di Provinsi Sumatera Utara disajikan pada **Tabel 3.1**. Data tersebut menunjukkan adanya variasi karakteristik fisik maupun kekuatan perkerasan runway pada masing-masing bandara.

**Tabel 3.1** Data Spesifikasi *Runway* [1], [3], [4]

Bandara	Panjang (m)	Lebar (m)	Elevasi (m)	Suhu (°C)	Kemiringan (%)
KUALANAMU INTERNASIONAL	3.960	60	5	31	0,025
SISINGAMANGARAJA XII	2.860	30	1438	27	1,118
BINAKA	2.370	30	14	29	0,464
DR FERDINAND LUMBAN TOBING	2.340	30	10	30	0,17
LASONDRE	1.460	30	6	29	0,285
JENDERAL BESAR ABDUL HARIS NASUTION	1.450	30	324	29	2,9
AEK GODANG	1.400	30	286	30	0,714
SIBISA	1.200	22	1288	27	0,75

Berdasarkan **Tabel 3.1** terlihat bahwa Bandara Internasional Kualanamu memiliki runway terpanjang dibandingkan bandara lainnya sehingga mampu mengakomodasi operasi pesawat berbadan sedang maupun berbadan lebar. Selain memiliki panjang runway yang memadai, bandara ini juga mempunyai nilai PCN yang relatif tinggi sehingga dapat menerima beban pesawat yang lebih besar tanpa memerlukan pembatasan operasi.

Sebaliknya, beberapa bandara seperti Bandara Sibisa, Bandara Lasondre, dan Bandara Sisingamangaraja XII memiliki karakteristik runway yang lebih terbatas, baik dari aspek panjang runway maupun kekuatan perkerasannya. Kondisi tersebut menyebabkan kemampuan operasional

pesawat menjadi lebih terbatas, terutama untuk pesawat dengan kebutuhan take-off distance yang panjang atau memiliki nilai ACN yang tinggi.

Perbedaan karakteristik runway tersebut menunjukkan bahwa setiap bandar udara memiliki kapasitas pelayanan yang berbeda sesuai dengan fungsi operasionalnya. Bandara utama umumnya dirancang untuk melayani pesawat dengan kapasitas yang lebih besar, sedangkan bandara perintis lebih difokuskan untuk melayani pesawat berukuran kecil hingga sedang yang memiliki kebutuhan panjang runway lebih pendek.

### 3.2 Pengaruh Faktor Koreksi terhadap Panjang Runway Efektif

Karakteristik fisik runway belum sepenuhnya menggambarkan kemampuan operasional suatu bandar udara. Dalam praktiknya, performa pesawat saat lepas landas dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, terutama temperatur, elevasi, dan kemiringan runway. Ketiga faktor tersebut menyebabkan panjang runway yang tersedia tidak selalu sama dengan panjang runway efektif yang dapat dimanfaatkan pesawat untuk melakukan lepas landas secara aman. Oleh karena itu, dilakukan koreksi terhadap panjang runway menggunakan faktor koreksi yang direkomendasikan oleh ICAO.

Koreksi pertama dilakukan terhadap temperatur. Peningkatan temperatur menyebabkan densitas udara menurun sehingga gaya angkat yang dihasilkan sayap pesawat berkurang. Kondisi tersebut mengakibatkan pesawat memerlukan jarak akselerasi yang lebih panjang sebelum mencapai kecepatan lepas landas. Selanjutnya dilakukan koreksi terhadap elevasi karena semakin tinggi lokasi bandar udara dari permukaan laut, semakin rendah densitas udara yang tersedia. Selain itu, kemiringan runway juga memengaruhi kebutuhan panjang landasan, terutama pada saat proses akselerasi pesawat.

Persamaan koreksi temperatur, elevasi, dan kemiringan digunakan untuk memperoleh panjang runway efektif (*Aeroplane Reference Field Length* atau ARFL) yang menjadi dasar dalam menentukan kemampuan operasi pesawat pada masing-masing bandar udara. Contoh perhitungan dilakukan pada Bandara Internasional Kualanam, sedangkan hasil perhitungan seluruh bandar udara disajikan pada **Tabel 3.2**.

#### 3.2.1 Spesifikasi Pesawat

Berikut **Tabel 3.2** yang berisikan data spesifikasi pesawat yang umum beroperasi di Indonesia khususnya Sumatera Utara.

**Tabel 3.2** Data Spesifikasi Pesawat

Tipe Pesawat	Wi (kg)	Fuel (kg)	Wf (kg)	V (km/s)	S (m <sup>2</sup> )	Cl	Cd	SFC	ARFL (m)
A319	64.000	19.004	44.996	0,232	122,4	0,156	0,021	0,00000693	1.799
A320	73.500	19.004	54.496	0,232	122,4	0,179	0,024	0,00000688	2.111
A321	83.000	18.879	64.121	0,232	122,4	0,203	0,034	0,00000626	2.513
A332	230.000	109.185	120.815	0,242	363,1	0,174	0,025	0,00000552	2.820
A333	212.000	109.185	102.815	0,244	363,1	0,157	0,027	0,00000580	2.776
AT72	22.000	5.000	17.000	0,141	61	0,289	0,035	0,00001237	1.220
B734	62.823	16.141	46.682	0,221	91,04	0,226	0,023	0,00000868	2.550
B737	60.328	20.894	39.434	0,237	124,6	0,138	0,025	0,00000745	1.598
B738	70.534	20.894	49.640	0,237	124,6	0,162	0,022	0,00000918	2.090
B739	74.389	20.894	53.495	0,237	124,6	0,171	0,025	0,00000910	2.240
B744	362.874	163.396	199.478	0,262	525	0,161	0,026	0,00001228	2.890
B748	447.696	191.565	256.131	0,262	554	0,188	0,029	0,00000935	2.959
B772ER	229.500	94.240	135.260	0,252	427,8	0,135	0,034	0,00000449	3.110
B773ER	351.535	145.538	205.997	0,252	436,8	0,203	0,035	0,00000417	3.120
C208B	3.629	1.009	2.620	0,095	25,96	0,247	0,034	0,00012119	274

### 3.2.2 Pengkoreksian Panjang Runway

Dalam penelitian ini data pengkoreksian dapat dilihat pada **Tabel 3.3**. Pengkoreksian dilakukan berdasarkan tiga faktor utama yaitu suhu, elevasi, dan kemiringan, sebagai berikut:

$$ARFL = \frac{PL}{F_t \times F_e \times F_s}$$

dengan:

ARFL = panjang runway efektif (m)

PL = panjang runway aktual (m)

F<sub>t</sub> = faktor koreksi temperatur

F<sub>e</sub> = faktor koreksi elevasi

F<sub>s</sub> = faktor koreksi kemiringan runway

#### a. Koreksi Suhu

Dengan suhu rata-rata di Bandara Internasional Kualanamu sebesar 31°C, diperlukan koreksi terhadap panjang *runway* sesuai dengan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} F_t &= 1 + 0,01 (31 - (15 - 0,0065 \times 5)) \\ &= 1 + 0,01 \times 16,0325 \\ &= 1 + 0,160325 \\ &= 1,160325 \end{aligned}$$

#### b. Koreksi Elevasi

Bandara Internasional Kualanamu terletak pada elevasi rendah yaitu 5 meter, sehingga koreksi elevasi sebagai berikut:

$$\begin{aligned} F_e &= 1 + \frac{5}{300} \times 0,07 \\ &= 1 + 0,016666667 \times 0,07 \\ &= 1 + 0,001166667 \\ &= 1,001166667 \end{aligned}$$

#### c. Koreksi Kemiringan

Bandara Internasional Kualanamu memiliki kemiringan sebesar 0,025%. Koreksi kemiringan dihitung menggunakan rumus berikut:

$$\begin{aligned} F_s &= 1 + 0,1 \times 0,025 \\ &= 1 + 0,0025 \\ &= 1,0025 \end{aligned}$$

#### d. Panjang *Runway* Setelah Koreksi

Bandara Internasional Kualanamu memiliki panjang *runway* 3.960 meter, maka panjang *runway* setelah koreksi:

$$\begin{aligned} ARFL &= \frac{3.960}{1,160325 \times 1,001166667 \times 1,0025} \\ &= \frac{3.960}{1,164582909} \\ &= 3.400,35902 \text{ m} \end{aligned}$$

**Tabel 3.3** Perbandingan *Runway* Setelah Pengkoreksian

No.	Bandara	Panjang	ARFL	Suhu	Elevasi	Kemiringan	Pengurangan
1	KUALANAMU INTERNASIONAL	3,960	3,400.36	1.160	1.001	1.003	559.64
2	SISINGAMANGARAJ A XII	2,860	1,587.29	1.213	1.336	1.112	1,272.71
3	BINAKA	2,370	1,978.71	1.141	1.003	1.046	391.29
4	DR FERDINAND LUMBAN TOBING	2,340	1,994.98	1.151	1.002	1.017	345.02
5	LASONDRE	1,460	1,243.05	1.140	1.001	1.029	216.95
6	JENDERAL BESAR ABDUL HARIS NASUTION	1,450	900.06	1.161	1.076	1.290	549.94
7	AEK GODANG	1,400	1,048.23	1.169	1.067	1.071	351.77

No.	Bandara	Panjang	ARFL	Suhu	Elevasi	Kemiringan	Pengurangan
8	SIBISA	1,200	713.06	1.204	1.301	1.075	486.94

Berdasarkan **Tabel 3.3** terlihat bahwa pengaruh faktor lingkungan berbeda pada setiap bandar udara. Bandara Sisingamangaraja XII mengalami pengurangan panjang runway efektif terbesar, yaitu sekitar 44,50% dari panjang runway aktual. Kondisi tersebut terutama disebabkan oleh elevasi bandar udara yang relatif lebih tinggi dibandingkan bandar udara lainnya sehingga faktor koreksi elevasi memberikan pengaruh yang cukup besar terhadap kebutuhan panjang landasan.

Sebaliknya, Bandara Internasional Kualanamu mengalami penurunan panjang runway efektif yang relatif kecil karena berada pada elevasi rendah dengan karakteristik lingkungan yang lebih mendukung operasi pesawat. Meskipun seluruh bandar udara mengalami penurunan panjang runway efektif setelah dilakukan koreksi, besarnya penurunan berbeda-beda sesuai kondisi geografis masing-masing lokasi.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa evaluasi panjang runway tidak cukup hanya mempertimbangkan dimensi geometrik runway, tetapi juga perlu memperhatikan kondisi lingkungan yang memengaruhi performa pesawat. Dengan demikian, panjang runway efektif menjadi parameter yang lebih representatif dalam menentukan kemampuan operasional suatu bandar udara dibandingkan hanya menggunakan panjang runway aktual.

### 3.3 Analisis Kesesuaian Runway terhadap Karakteristik Pesawat

Selain panjang runway, kemampuan suatu bandar udara dalam melayani operasi pesawat juga dipengaruhi oleh lebar runway dan kekuatan perkerasan landasan (Pavement Classification Number atau PCN). Kedua parameter tersebut menentukan apakah suatu tipe pesawat dapat beroperasi secara aman tanpa melebihi kapasitas struktur runway. Oleh karena itu, evaluasi karakteristik runway dilakukan tidak hanya berdasarkan panjang landasan efektif, tetapi juga dengan membandingkan kebutuhan dimensi runway dan nilai Aircraft Classification Number (ACN) setiap pesawat terhadap spesifikasi runway yang tersedia.

#### 3.3.1 Analisis Lebar Runway

Lebar runway dievaluasi berdasarkan kesesuaian dengan karakteristik roda pendaratan utama pesawat (Outer Main Gear Wheel Span atau OMGWS). Semakin besar dimensi pesawat, semakin besar pula kebutuhan lebar runway agar proses take-off, landing, maupun ground maneuver dapat dilakukan dengan aman.

**Tabel 3.4 Perbandingan Lebar Runway terhadap OMGWS Pesawat**

Tipe Pesawat	OMGWS(m)	Lebar Runway(m)							
		KNO	DTB	GNS	FLZ	LSE	JHN	AEG	SIW
		60	30	30	30	30	30	30	23
A319	8.9	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
A320	8.9	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
A321	8.9	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
A332	12.6	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
A333	12.6	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
AT72	4.1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
B734	6.4	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
B737	7	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
B738	7	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
B739	7	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
B744	12.6	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
B748	12.7	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
B772ER	12.9	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
B773ER	12.9	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
C208B	3.6	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Berdasarkan **Tabel 3.4**, seluruh bandara yang dianalisis pada umumnya telah memiliki lebar runway yang sesuai untuk melayani tipe pesawat yang beroperasi pada masing-masing bandar udara. Bandara Internasional Kualanamu memiliki lebar runway terbesar sehingga mampu mengakomodasi pesawat berbadan sempit maupun beberapa pesawat berbadan lebar. Sementara itu, bandara-bandara perintis

tetap mampu melayani pesawat yang sesuai dengan fungsi operasionalnya karena tipe pesawat yang digunakan memiliki dimensi roda pendaratan yang lebih kecil.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa lebar runway bukan merupakan faktor pembatas utama pada penelitian ini. Keterbatasan operasional pesawat lebih banyak dipengaruhi oleh panjang runway efektif dan kekuatan struktur perkerasan dibandingkan dimensi lebar runway.

### 3.3.2 Analisis Kesesuaian PCN dan ACN

Selain dimensi geometrik runway, kemampuan struktur perkerasan merupakan aspek penting yang harus dipenuhi agar pesawat dapat beroperasi secara aman. Evaluasi dilakukan dengan membandingkan nilai Aircraft Classification Number (ACN) setiap pesawat terhadap nilai Pavement Classification Number (PCN) masing-masing bandar udara.

**Tabel 3.5** Nilai PCN Runway Bandara

Bandara	PCN
KUALANAMU INTERNASIONAL	71/F/B/W/T
SISINGAMANGARAJA XII	40/F/C/W/T
BINAKA	32/F/C/X/T
DR FERDINAND LUMBAN TOBING	34/F/C/Y/T
LASONDRE	5/F/C/Z/U
JENDERAL BESAR ABDUL HARIS NASUTION	17/F/C/Y/T
AEK GODANG	29/F/C/Y/T
SIBISA	11/F/C/Y/T

**Tabel 3.6** Nilai ACN Pesawat

Tipe Pesawat	ACN Wi C	ACN Wf C	ACN Wi B	ACN Wf B
A319	36,1	23,4	32,6	21,5
A320	44,1	30,3	39,7	27,8
A321	52,4	37,7	47,5	34,6
A332	71,2	30	61,5	27,5
A333	64,2	24,8	56,1	22,9
AT72	14,4	10,4	12,3	8,9
B734	39,7	27,1	35,4	24,4
B737	34,6	20,5	31,5	19
B738	43,4	27,8	39,2	25,7
B739	47,2	31,1	42,8	28,7
B744	63,1	26,7	52,1	23,8
B748	88,1	37,9	70,6	33,2
B772ER	45,6	21,5	38,4	19,1
B773ER	89	39,1	71	33,4
C208B	1,7	1,1	1,3	0,9

Berdasarkan hasil perbandingan tersebut terlihat bahwa beberapa bandar udara memiliki nilai PCN yang cukup tinggi sehingga mampu melayani pesawat dengan nilai ACN besar tanpa memerlukan pembatasan beban. Sebaliknya, pada beberapa bandar udara dengan nilai PCN yang lebih rendah, terdapat beberapa tipe pesawat yang memiliki nilai ACN melebihi kemampuan runway sehingga diperlukan penyesuaian beban operasi.

Perbedaan nilai PCN antarbandara mencerminkan perbedaan kapasitas struktur runway dalam menerima beban pesawat. Bandara utama seperti Kualanamu dirancang untuk melayani lalu lintas pesawat dengan frekuensi tinggi dan bobot yang lebih besar sehingga memiliki kapasitas struktur yang lebih baik dibandingkan bandara perintis. Sebaliknya, beberapa bandara regional lebih difokuskan untuk melayani pesawat berkapasitas kecil hingga menengah sehingga kekuatan perkerasannya juga disesuaikan dengan kebutuhan operasional.

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa kesesuaian antara ACN dan PCN menjadi salah satu faktor utama yang menentukan apakah pesawat dapat beroperasi pada beban maksimum atau memerlukan pembatasan beban. Oleh karena itu, analisis ACN-PCN perlu dilakukan bersamaan dengan evaluasi panjang runway agar kemampuan operasional setiap bandar udara dapat dinilai secara lebih menyeluruh.

### 3.4 Analisis Penyesuaian Beban Pesawat

Hasil evaluasi kesesuaian antara nilai ACN pesawat dan PCN runway menunjukkan bahwa tidak seluruh pesawat dapat beroperasi menggunakan beban maksimum pada setiap bandar udara. Untuk memenuhi batas kemampuan struktur runway, dilakukan penyesuaian beban operasi sehingga nilai ACN pesawat tetap berada dalam batas yang diizinkan.

**Tabel 3.7** Penyesuaian Beban Izin Pesawat

Tipe Pesawat	Beban Min	Beban pesawat menurut PCN runway							
		KNO	DTB	GNS	FLZ	LSE	JHN	AEG	SIW
A319	44.996	64.000	64.000	57.865	60.858	17.463	35.419	53.376	26.441
A320	54.496	73.500	67.854	56.837	59.591	19.655	36.181	52.706	27.918
A321	64.121	83.000	67.075	56.801	59.369	22.125	37.536	52.948	29.831
A332	120.815	230.000	x	x	x	x	x	x	x
A333	102.815	212.000	x	x	x	x	x	x	x
AT72	17.000	22.000	22.000	22.000	22.000	10.250	22.000	22.000	17.750
B734	46.682	62.823	62.823	52.959	55.521	18.371	33.744	49.116	26.057
B737	39.434	60.328	60.328	56.475	59.439	16.465	34.248	52.030	25.356
B738	49.640	70.534	65.980	55.265	57.944	19.103	35.175	51.247	27.139
B739	53.495	74.389	65.045	54.663	57.259	19.623	35.197	50.770	27.410
B744	199.478	362.874	x	x	x	x	x	x	x
B748	256.131	447.696	x	x	x	x	x	x	x
B772ER	135.260	229.500	x	x	x	x	x	x	x
B773ER	205.997	351.535	x	x	x	x	x	x	x
C208B	2.620	3.629	3.629	3.629	3.629	3.629	3.629	3.629	3.629

Berdasarkan **Tabel 3.7** terlihat bahwa besarnya penyesuaian beban berbeda untuk setiap tipe pesawat dan bandar udara. Pesawat dengan bobot maksimum yang lebih besar umumnya mengalami penyesuaian beban yang lebih signifikan ketika beroperasi pada bandar udara dengan nilai PCN rendah. Sebaliknya, pada bandar udara dengan nilai PCN tinggi, sebagian besar pesawat masih dapat beroperasi mendekati beban maksimum yang diizinkan.

Penyesuaian beban tersebut berpengaruh terhadap kebutuhan panjang runway (Adjusted Aeroplane Reference Field Length). Semakin kecil beban operasi pesawat, semakin pendek kebutuhan panjang runway untuk proses lepas landas.

**Tabel 3.8** Adjusted ARFL Pesawat

Tipe Pesawat	ARFL	ARFL Runway							
		KNO	DTB	GNS	FLZ	LSE	JHN	AEG	SIW
A319	1.799	1.799	1.799	1.471	1.627	x	x	1.251	x
A320	1.797	1.797	1.532	1.075	1.181	x	x	x	x
A321	2.513	2.513	1.641	x	x	x	x	x	x
A332	2.820	2.820	x	x	x	x	x	x	x
A333	2.776	2.776	x	x	x	x	x	x	x
AT72	1.220	1.220	1.220	1.220	1.220	x	1.220	1.220	794
B734	2.550	2.550	2.550	1.812	1.992	x	x	1.559	x
B737	1.598	1.598	1.598	1.400	1.551	x	x	1.189	x
B738	1.799	1.799	1.574	1.104	1.214	x	x	950	x
B739	1.799	1.799	1.375	971	1.066	x	x	x	x
B744	3.150	3.150	x	x	x	x	x	x	x
B748	3.292	3.292	x	x	x	x	x	x	x
B772ER	3.110	3.110	x	x	x	x	x	x	x
B773ER	3.120	3.120	x	x	x	x	x	x	x
C208B	274	274	274	274	274	274	274	274	274

Hasil pada **Tabel 3.8** menunjukkan bahwa penyesuaian beban memberikan pengaruh terhadap nilai ARFL masing-masing pesawat. Pada beberapa tipe pesawat, penurunan beban operasi menyebabkan kebutuhan panjang runway menjadi lebih kecil sehingga pesawat tetap dapat beroperasi pada bandar udara dengan panjang runway terbatas.

Selanjutnya dilakukan evaluasi terhadap kemampuan operasi pesawat berdasarkan kombinasi antara panjang runway efektif dan hasil penyesuaian beban.

Bandara Binaka mempunyai *runway* dengan tipe C dengan nilai PCN sebesar 32 dimana harus melakukan koreksi beban sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 P_{ta} &= 44.996 + \frac{(64.000 - 44.996)(32 - 23,4)}{(36,1 - 23,4)} \\
 &= 44.996 + 12.868,85039 \\
 &= 57.864,85039 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

**Tabel 3.9** Penyesuaian Berat Operasi Pesawat

Tipe Pesawat	Beban Min	Beban Pesawat Berdasarkan Panjang Runway							
		KNO	DTB	GNS	FLZ	LSE	JHN	AEG	SIW
A319	44.996	64.000	60.111	57.865	60.858	x	x	40.739	x
A320	54.496	73.500	67.854	56.837	59.591	x	x	x	x
A321	64.121	83.000	65.958	x	x	x	x	x	x
A332	120.815	230.000	x	x	x	x	x	x	x
A333	102.815	212.000	x	x	x	x	x	x	x
AT72	17.000	22.000	22.000	22.000	22.000	x	18.896	20.390	16.819
B734	46.682	62.823	49.561	52.959	55.521	x	x	40.274	x
B737	39.434	60.328	60.120	56.475	59.439	x	x	48.855	x
B738	49.640	70.534	65.980	55.265	57.944	x	x	53.835	x
B739	53.495	74.389	65.045	54.663	57.259	x	x	x	x
B744	199.478	362.874	x	x	x	x	x	x	x
B748	256.131	447.696	x	x	x	x	x	x	x
B772ER	135.260	229.500	x	x	x	x	x	x	x
B773ER	205.997	351.535	x	x	x	x	x	x	x
C208B	2.620	3.629	3.629	3.629	3.629	3.629	3.629	3.629	3.629

Berdasarkan hasil tersebut terlihat bahwa tidak semua pesawat memerlukan tingkat penyesuaian yang sama. Cessna 208B tidak memerlukan penyesuaian beban pada seluruh bandar udara yang dianalisis karena memiliki kebutuhan panjang runway relatif pendek serta nilai ACN yang masih sesuai dengan kapasitas runway. Sebaliknya, pesawat seperti Airbus A321 dan Boeing 737-900ER memerlukan penyesuaian beban yang lebih besar ketika beroperasi pada bandar udara dengan panjang runway efektif yang terbatas.

Temuan ini menunjukkan bahwa karakteristik runway tidak hanya menentukan apakah pesawat dapat beroperasi, tetapi juga menentukan kapasitas angkut yang dapat dimanfaatkan selama operasi penerbangan. Dengan kata lain, keterbatasan runway dapat mengurangi efisiensi operasi karena maskapai harus mengurangi jumlah penumpang, kargo, atau bahan bakar agar pesawat tetap memenuhi persyaratan keselamatan.

### 3.5 Analisis Jangkauan Pesawat

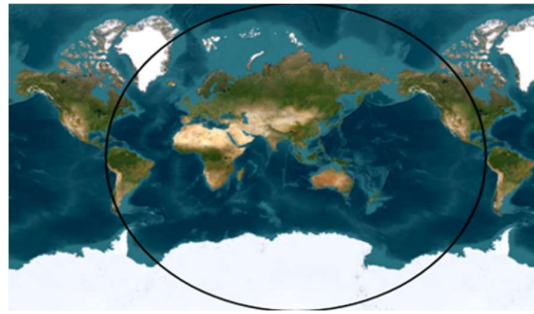
Setelah dilakukan koreksi terhadap panjang runway dan penyesuaian beban operasi pesawat, tahap selanjutnya adalah menganalisis jangkauan penerbangan yang dapat dicapai oleh masing-masing pesawat pada setiap bandar udara di Provinsi Sumatera Utara. Perhitungan jangkauan dilakukan menggunakan Persamaan Breguet dengan mempertimbangkan perubahan berat operasi pesawat akibat keterbatasan karakteristik runway. Hasil perhitungan jangkauan disajikan pada **Tabel 3.10**, sedangkan visualisasi jangkauan setiap bandar udara ditunjukkan pada **Gambar 3.1 - Gambar 3.9**.

**Tabel 3.10** Jangkauan Pesawat pada Delapan Bandara di Sumatera Utara

Bandara	Tipe Pesawat	Jangkauan
KUALANAMU	A332	19,929
SISINGAMANGARAJA XII	B737	7,657
BINAKA	B737	6,521
DR FERDINAND LUMBAN TOBING	A319	7,718
LASONDRE	C208B	188
JENDERAL BESAR ABDUL HARIS NASUTION	AT72	1,015
AEK GODANG	B737	3,890
SIBISA	C208B	188

Berdasarkan Tabel 3.8 terlihat bahwa kemampuan jangkauan pesawat berbeda pada setiap bandar udara. Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh panjang runway efektif, nilai PCN, serta hasil penyesuaian beban yang harus dilakukan pada masing-masing tipe pesawat. Bandar udara dengan karakteristik runway yang lebih baik mampu mempertahankan jangkauan pesawat mendekati spesifikasi operasionalnya, sedangkan bandar udara dengan keterbatasan runway menyebabkan penurunan jangkauan akibat berkurangnya berat operasi yang diizinkan.

### 3.5.1 Bandara Internasional Kualanamu



**Gambar 3.1** Jangkauan Pesawat di Bandara Internasional Kualanamu

Bandara Internasional Kualanamu memiliki karakteristik runway yang paling baik dibandingkan bandar udara lain yang dianalisis. Panjang runway yang memadai, nilai PCN yang tinggi, serta kondisi lingkungan yang relatif mendukung menyebabkan sebagian besar pesawat dapat beroperasi tanpa memerlukan pengurangan beban yang signifikan. Akibatnya, jangkauan penerbangan yang dihasilkan masih mendekati jangkauan maksimum masing-masing pesawat. Kondisi ini menunjukkan bahwa Bandara Internasional Kualanamu mampu melayani penerbangan domestik maupun internasional menggunakan berbagai tipe pesawat yang umum beroperasi di Indonesia.

### 3.5.2 Bandara Sisingamangaraja XII



**Gambar 3.2** Jangkauan Pesawat di Bandara Sisingamangaraja XII

Berbeda dengan Bandara Internasional Kualanamu, Bandara Sisingamangaraja XII mengalami penurunan panjang runway efektif terbesar setelah dilakukan koreksi terhadap faktor lingkungan. Elevasi bandar udara yang relatif tinggi menyebabkan kebutuhan panjang runway meningkat sehingga beberapa pesawat harus mengurangi beban operasinya agar tetap dapat melakukan lepas landas secara aman.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pesawat Airbus A321 mengalami penurunan jangkauan paling besar, yaitu sekitar 89,04% dibandingkan kondisi operasi normal. Penurunan tersebut merupakan konsekuensi dari berkurangnya berat operasi yang diizinkan akibat keterbatasan runway efektif. Temuan ini menunjukkan bahwa karakteristik geografis bandar udara dapat memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kemampuan operasi pesawat.

### 3.5.3 Bandara Binaka



**Gambar 3.3** Jangkauan Pesawat di Bandara Binaka

Hasil analisis menunjukkan bahwa Bandara Binaka masih mampu melayani sebagian besar pesawat yang dianalisis, namun beberapa tipe pesawat berbobot besar memerlukan penyesuaian beban agar memenuhi persyaratan panjang runway dan kekuatan perkerasan. Dibandingkan Bandara Internasional Kualanamu, jangkauan pesawat di Bandara Binaka mengalami penurunan, meskipun tidak sebesar yang terjadi pada Bandara Sisingamangaraja XII.

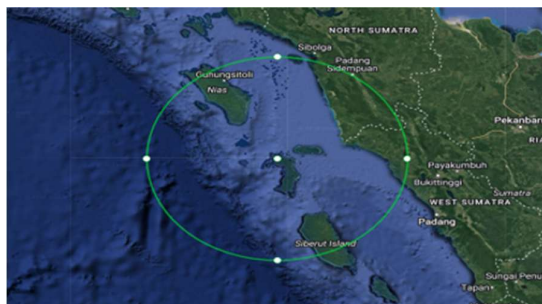
### 3.5.4 Bandara Dr. Ferdinand Lumban Tobing



**Gambar 3.4** Jangkauan Pesawat di Bandara Dr. Ferdinand Lumban Tobing

Karakteristik runway pada Bandara Dr. Ferdinand Lumban Tobing masih memungkinkan pengoperasian beberapa tipe pesawat regional dengan penyesuaian beban yang relatif kecil. Namun demikian, pesawat dengan kebutuhan panjang runway yang besar tetap mengalami penurunan jangkauan akibat keterbatasan panjang runway efektif.

### 3.5.5 Bandara Lasondre

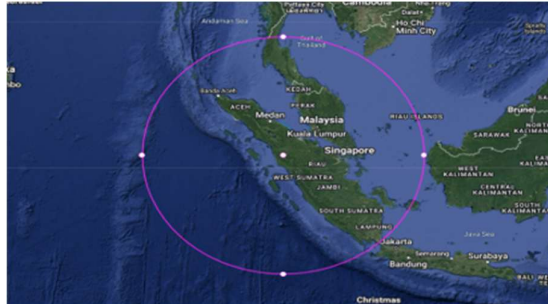


**Gambar 3.5** Jangkauan Pesawat di Bandara Lasondre

Bandara Lasondre memiliki runway yang relatif pendek sehingga kemampuan operasional pesawat lebih terbatas dibandingkan bandar udara utama. Sebagian besar pesawat hanya dapat dioperasikan

setelah dilakukan penyesuaian beban, sedangkan pesawat berukuran kecil seperti Cessna 208B masih dapat beroperasi tanpa pembatasan yang berarti.

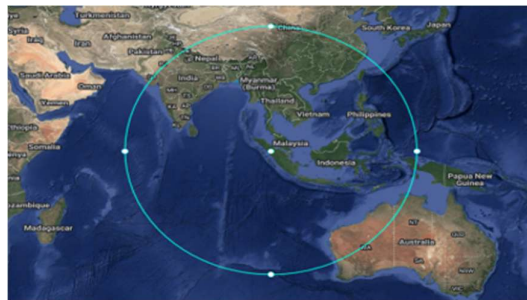
### 3.5.6 Bandara Jenderal Besar Abdul Haris Nasution



**Gambar 3.6** Jangkauan Pesawat di Bandara Jenderal Besar Abdul Haris Nasution

Hasil analisis menunjukkan bahwa karakteristik runway pada bandara ini masih sesuai untuk melayani pesawat regional, namun kurang optimal untuk pesawat berbadan sedang dengan kebutuhan panjang runway yang lebih besar. Oleh karena itu, jangkauan penerbangan beberapa tipe pesawat mengalami penurunan setelah dilakukan penyesuaian beban.

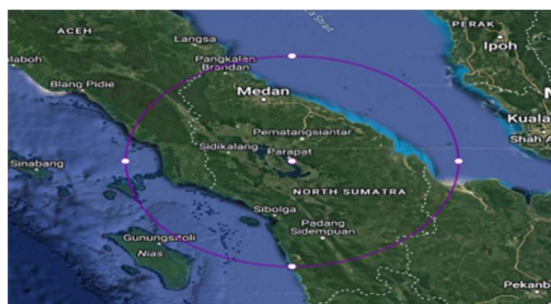
### 3.5.7 Bandara Aek Godang



**Gambar 3.7** Jangkauan Pesawat di Bandara Aek Godang

Bandara Aek Godang memiliki karakteristik runway yang menghasilkan kemampuan operasional yang hampir serupa dengan beberapa bandara regional lainnya. Pengurangan jangkauan pesawat terutama dipengaruhi oleh kebutuhan penyesuaian beban akibat keterbatasan runway efektif. Meskipun demikian, beberapa pesawat regional masih mampu beroperasi tanpa pengurangan jangkauan yang signifikan.

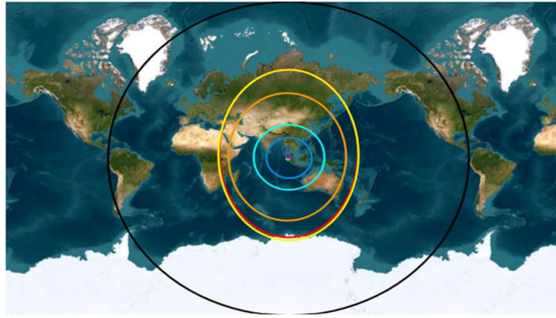
### 3.5.8 Bandara Sibisa



**Gambar 3.8** Jangkauan Pesawat di Bandara Sibisa

Bandara Sibisa merupakan salah satu bandar udara dengan karakteristik runway yang relatif terbatas sehingga hanya mampu melayani pesawat dengan kebutuhan panjang runway yang rendah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pesawat berbobot besar mengalami penurunan jangkauan yang cukup signifikan akibat pembatasan beban operasi.

### 3.5.9 Perbandingan Seluruh Bandara



Gambar 3.9 Perbandingan Jangkauan Pesawat pada Seluruh Bandara

Perbandingan keseluruhan menunjukkan bahwa Bandara Internasional Kualanamu memiliki kemampuan operasional terbaik karena mampu mempertahankan jangkauan hampir seluruh tipe pesawat yang dianalisis. Sebaliknya, Bandara Singamangaraja XII menunjukkan keterbatasan paling besar akibat pengaruh elevasi terhadap panjang runway efektif. Bandara-bandara regional lainnya berada di antara kedua kondisi tersebut dengan tingkat penyesuaian beban yang berbeda sesuai karakteristik runway masing-masing.

Secara umum, hasil penelitian menunjukkan bahwa panjang runway efektif merupakan faktor yang paling dominan memengaruhi jangkauan pesawat, sedangkan lebar runway pada seluruh bandara yang dianalisis tidak menjadi faktor pembatas utama. Selain itu, kesesuaian antara nilai ACN dan PCN berpengaruh terhadap besarnya beban operasi yang dapat digunakan, yang pada akhirnya menentukan jangkauan penerbangan yang dapat dicapai.

### 3.6 Implikasi Hasil Penelitian

Hasil penelitian menunjukkan bahwa karakteristik runway memiliki pengaruh yang nyata terhadap kemampuan operasional pesawat pada bandar udara di Provinsi Sumatera Utara. Perbedaan panjang runway efektif, nilai PCN, serta kondisi lingkungan menyebabkan setiap bandar udara memiliki kapasitas pelayanan yang berbeda terhadap berbagai tipe pesawat. Oleh karena itu, pemilihan jenis pesawat sebaiknya disesuaikan dengan karakteristik runway masing-masing bandar udara agar operasi penerbangan dapat berlangsung secara aman dan efisien.

Bagi pengelola bandar udara, hasil penelitian ini dapat menjadi bahan pertimbangan dalam menyusun prioritas pengembangan infrastruktur, khususnya pada bandar udara yang mengalami keterbatasan panjang runway efektif atau kekuatan perkerasan. Sementara itu, bagi maskapai penerbangan, informasi mengenai kemampuan operasi pesawat pada masing-masing bandar udara dapat dimanfaatkan dalam menentukan tipe pesawat dan perencanaan muatan sehingga risiko pembatasan beban dapat diminimalkan.

## IV. KESIMPULAN

Karakteristik runway terbukti memengaruhi kemampuan operasional dan jangkauan pesawat pada bandar udara di Provinsi Sumatera Utara. Perbedaan panjang runway, nilai Pavement Classification Number (PCN), serta faktor lingkungan berupa temperatur, elevasi, dan kemiringan runway menyebabkan setiap bandar udara memiliki kemampuan yang berbeda dalam melayani berbagai tipe pesawat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Bandara Internasional Kualanamu memiliki karakteristik runway yang paling mendukung sehingga sebagian besar pesawat dapat beroperasi tanpa penyesuaian

beban yang berarti. Sebaliknya, Bandara Sisingamangaraja XII mengalami pengurangan panjang runway efektif terbesar akibat faktor elevasi sehingga beberapa pesawat memerlukan pengurangan beban yang berdampak pada penurunan jangkauan penerbangan.

Evaluasi terhadap kesesuaian antara nilai ACN pesawat dan PCN runway menunjukkan bahwa kemampuan struktur perkerasan juga menjadi faktor penting dalam menentukan beban operasi pesawat. Pesawat dengan bobot yang lebih besar cenderung memerlukan penyesuaian beban ketika beroperasi pada bandar udara dengan nilai PCN yang lebih rendah. Di sisi lain, pesawat seperti Cessna 208B tetap dapat beroperasi pada seluruh bandar udara yang ditinjau tanpa memerlukan penyesuaian beban, sehingga lebih sesuai untuk melayani bandar udara dengan karakteristik runway yang terbatas.

Hasil penelitian ini dapat menjadi informasi pendukung bagi pengelola bandar udara dalam mengevaluasi kemampuan operasional runway serta sebagai bahan pertimbangan bagi maskapai penerbangan dalam menentukan tipe pesawat yang sesuai dengan karakteristik masing-masing bandar udara. Selain itu, hasil penelitian juga dapat dimanfaatkan sebagai salah satu referensi dalam perencanaan pengembangan infrastruktur bandar udara, khususnya pada bandar udara yang masih memiliki keterbatasan panjang runway maupun kekuatan perkerasan.

Penelitian selanjutnya disarankan untuk mempertimbangkan faktor operasional lainnya, seperti pengaruh angin, kondisi permukaan runway, kelembapan udara, maupun performa pesawat berdasarkan kondisi operasi aktual sehingga analisis jangkauan pesawat dapat dilakukan secara lebih komprehensif.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] International Civil Aviation Organization (ICAO), *Internasional Standards and Recommended Practices, Aerodromes Annex 14 to The Convention on International Civil Aviation*, First Edition, Montreal, Canada, 1951.
- [2] Pemerintah Indonesia, *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2009 Tentang Penerbangan*, Jakarta, Indonesia, 2009.
- [3] Federation Aviation Administration (FAA), *Airport Design*, AC No: 150/5300-13B, Washington DC, USA, 2024.
- [4] International Civil Aviation Organization (ICAO), *Doc 9157, Aerodrome Design Manual Part 1 – Runways*, Fourth Edition, Montreal, Canada, 2020.
- [5] International Civil Aviation Organization (ICAO), *Doc 9157, Aerodrome Design Manual Part 3 – Pavements*, Third Edition, Montreal, Canada, 2022.
- [6] Federation Aviation Administration (FAA), *Standardized Method of Reporting Airport Pavement Strength*, AC No: 150/5335-5D, Washington DC, USA, 2022.
- [7] Ataline. M., *Beban Ijin Total Pesawat (Pta) Dari Nilai PCN (Pavement Classification Number) Di Bandara Kuala Namu Medan*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Udara, Jakarta, Indonesia, 2012.
- [8] Google Earth, *Tampilan Bandara di Sumatera Utara*, 2024. [Daring]. <https://earth.google.com/web>. Diakses: 18 Agustus 2024.
- [9] Direktorat Jenderal Perhubungan Udara, *“Spesifikasi Bandara di Sumatera Utara”*, 2024. [Daring]. <https://hubud.dephub.go.id/hubud/website/bandara>. Diakses: 18 Agustus 2024.
- [10] ATR, *“ATR 72-500”*, 2020. [Daring]. <https://www.atr-aircraft.com/wp-content/uploads/2020/07/72-500.pdf>. Diakses: 28 Agustus 2024
- [11] ICAO. *Aerodrome Design Manual, Part 1 – Runways*, 4th ed., Montreal, Canada, 2022.
- [12] FAA. *Advisory Circular AC 150/5300-13B Airport Design*, Washington DC, 2022.
- [13] Boeing Commercial Airplanes. *Airplane Characteristics for Airport Planning – Boeing 737-800*, Seattle, WA, USA, 2023.
- [14] Airbus S.A.S. *Airport Compatibility and Planning Manual – Airbus A321*, Toulouse, France, 2023.
- [15] X. Zhang, Y. Li, and H. Wang, "Runway length assessment considering airport environmental conditions," *Journal of Air Transport Management*, vol. 102, 2022.