

EVALUASI PANJANG LANDAS PACU KETIGA BANDARA INTERNASIONAL SOEKARNO-HATTA UNTUK PENGOPERASIAN PESAWAT JENIS BOEING 747-8

Bimo Radifan Abdurrachman¹, Indartono Rivai², Tri Rachmat³

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Jayabaya,
Jakarta, Indonesia

Email: bimoradifan.96@gmail.com

ABSTRAK

Bandara Internasional Soekarno-Hatta dilakukan pengembangan melalui pembangunan landas pacu (runway) ketiga, dengan panjang 3.000 meter dan lebar 60 meter, yang dilakukan untuk peningkatan kapasitas pergerakan pesawat per jam. Dalam kurun waktu 20 tahun terakhir, pabrikan pesawat ternama di dunia mulai memproduksi berbagai pesawat jenis terbaru. Sehingga, perlu dilakukan evaluasi terhadap bandara eksisting untuk dapat melayani pesawat jenis baru tersebut. Dalam hal evaluasi panjang runway, untuk mengakomodir pesawat jenis Boeing 747-8 di Bandara Soekarno-Hatta, maka dilakukan studi evaluasi panjang landas pacu ketiga yang merupakan runway yang terbaru. Studi ini dilakukan untuk menganalisis panjang runway yang ada apakah dapat digunakan untuk take-off pesawat Boeing 747-8 dengan muatan Maximum Take-off Weight (MTOW). Penelitian ini dilakukan dengan metode perhitungan Aeroplane Reference Field Length (ARFL). Data yang digunakan dalam analisis ARFL di antaranya kurva performa pesawat dari pabrikan, serta data elevasi, suhu dan kemiringan runway untuk faktor koreksi. Hasil analisis data menunjukkan kebutuhan panjang runway untuk take-off terkoreksi ARFL di runway ketiga adalah 3.723,77 meter. Dengan demikian, panjang runway ketiga eksisting secara teori belum mampu digunakan untuk take-off Boeing 747-8 dalam kondisi MTOW. Rekayasa yang dapat dilakukan di antaranya penambahan panjang runway sepanjang 800 meter atau pembatasan beban pesawat menjadi 402.000 kg.

Kata kunci: landas pacu, panjang runway, ARFL

PENDAHULUAN

Industri penerbangan dan dirgantara Indonesia memiliki prospek yang cerah dengan didukung kondisi geografis Indonesia yang merupakan negara kepulauan terbesar di dunia. Bisnis penerbangan yang sebagian besar adalah angkutan penumpang selalu terkena dampak yang besar selama keadaan krisis yang pernah terjadi di dunia, salah satunya adalah pandemi COVID-19 yang berdampak sangat besar pada bisnis penerbangan. (Thepchalerm & Ho, 2021).

Hal berbeda terjadi pada bisnis penerbangan angkutan barang atau kargo. Jumlah permintaan angkutan kargo udara di Indonesia terlihat tidak banyak terpengaruh oleh COVID-19 jika dibandingkan dengan jumlah penumpang pesawat yang merosot tajam. Terlebih semenjak pandemi COVID-19, masyarakat mulai terbiasa bertransaksi secara daring dengan memanfaatkan e-

commerce. Kebiasaan baru ini memunculkan peluang baru bagi transportasi udara untuk mengangkut kiriman barang baik domestik maupun internasional.

Pesawat udara memiliki beragam tipe dari beberapa jenis pabrikan, yang populer di dunia di antaranya Boeing dan Airbus. Dalam rangka menanggapi tingginya permintaan akan transportasi udara penumpang dan barang yang efisien, beberapa pabrikan pesawat ternama di dunia memproduksi jenis pesawat baru, salah satunya jenis Boeing 747-8. Untuk itu, maka dengan penelitian ini dilakukan evaluasi panjang runway eksisting yaitu runway ketiga Bandara Internasional Soekarno-Hatta untuk melayani pesawat jenis tersebut yang lepas landas dalam kondisi Maximum Take-off Weight (MTOW).

LANDASAN TEORI

Bandar Udara

Menurut Azminingtyas (2021),

bandar udara terdiri dari 2 (dua) fasilitas yaitu fasilitas sisi udara (*airside*) dan fasilitas sisi darat (*landside*). Fasilitas sisi udara merupakan area yang menjadi tempat beroperasinya pesawat udara, serta kegiatan penunjangnya dengan kategori area terbatas (*restricted area*). Sedangkan fasilitas sisi darat meliputi area untuk umum (*public*). Fasilitas yang termasuk dalam fasilitas sisi udara di antaranya runway (landasan pacu), taxiway (landas hubung) dan apron (area parkir pesawat).

Adapun fasilitas yang termasuk ke dalam area sisi darat (*landside*) di antaranya gedung terminal, *curbside* serta area parkir.

Klasifikasi bandar udara berdasarkan Aerodrome Reference Code (ARC) terdiri dalam 2 (dua) elemen kode, yaitu kode angka dan kode huruf. Kode angka membagi kategori bandar udara berdasarkan panjang landas pacu, sedangkan kode huruf membagi kategori bandar udara berdasarkan lebar bentang sayap dari pesawat terbesar yang dilayani. Klasifikasi ARC berdasarkan PR 21 Tahun 2023 dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Kode Referensi Bandar Udara
(Sumber: PR 21 Tahun 2023)

Kode Elemen 1	
Kode Angka	Aeroplane Reference Field Length (ARFL)
1	Kurang dari 800 m
2	800 m dan lebih tapi tidak sampai 1.200 m
3	1200 m dan lebih tapi tidak sampai 1.800 m
4	1.800 m dan lebih

Kode Elemen 2	
Kode Huruf	Bentang Sayap
A	Hingga tapi tidak sampai 15 m
B	15 m dan lebih tapi tidak sampai 24 m
C	24 m dan lebih tapi tidak sampai 36 m
D	36 m dan lebih tapi tidak sampai 52 m
E	52 m dan lebih tapi tidak sampai 65 m
F	65 m dan lebih tapi tidak sampai 80 m

Landas Pacu (*Runway*)

Menurut Suweda, dkk (2014), runway atau landasan pacu didefinisikan sebagai suatu areal pada suatu bandar udara yang digunakan sebagai tempat untuk bertolaknya (*take-off*) dan mendaratnya (*landing*) pesawat terbang. Runway biasanya memiliki konstruksi dan permukaan yang dapat berupa aspal, beton atau rumput. Dalam perhitungan panjang

landasan pacu, faktor-faktor yang perlu diperhatikan antara lain :

- Persyaratan atau regulasi yang ditetapkan pemerintah terhadap pembuat dan operator pesawat terbang;
- Lingkungan di sekitar bandar udara tersebut; dan
- Hal-hal yang menentukan bobot operasi kotor pendaratan (*landing*) dan lepas landas (*take off*) untuk setiap tipe pesawat terbang.

Kebutuhan panjang runway untuk pendaratan lebih pendek daripada untuk lepas landas, karena ketika mendarat beban bahan bakar pesawat sudah berkurang. Sehingga, kebutuhan panjang runway untuk perencanaan bandar udara hanya dihitung dari kebutuhan untuk lepas landas saja. Prosedur FAA untuk memperkirakan panjang landasan didasarkan pada data berikut:

- Penentuan pesawat kritis;
- Berat lepas landas maksimum pesawat kritis (MTOW);
- Ketinggian bandara;
- Rata-rata suhu maksimum harian pada bulan terpanas di bandara; dan
- Perbedaan elevasi maksimum sepanjang garis tengah runway.

Aeroplane Reference Field Length (ARFL)

Dalam dokumen ICAO Doc 9157 (2020), *Aeroplane Reference Field Length (ARFL)* didefinisikan sebagai landasan pacu minimum yang dibutuhkan pesawat untuk lepas landas dalam kondisi MTOW, temperatur atmosfer standar, elevasi muka air laut dan gradien kemiringan. Panjang runway rencana yang dipersyaratkan ditentukan melalui panjang landasan pacu dasar (*basic runway length*) yang diterbitkan oleh pabrikan pesawat, dikalikan dengan angka koreksi untuk setiap faktor koreksi dengan persamaan sebagai berikut:

$$L_a = L_b \times F_e \times F_t \times F_s$$

dimana :

L_a = panjang landasan pacu aktual (m)

L_b = panjang landasan pacu dasar dari pabrikan pesawat (m)

F_e = koreksi elevasi

F_t = koreksi temperature

F_s = koreksi kelandaian landasan

Dikutip dari Sartono, dkk (2016), tiap-tiap faktor koreksi ARFL terhadap lingkungan landasan pacu bandara tersebut ditentukan menggunakan rumus :

a. Koreksi ketinggian

Pengaruh ketinggian/elevasi bandar udara disebabkan karena saat elevasi runway bertambah, maka kerapatan udara menurun. Kondisi ini akan mengurangi gaya angkat pada sayap pesawat, sehingga pesawat memerlukan kecepatan di darat (ground speed) yang lebih tinggi sebelum dapat mengangkat untuk lepas landas. Untuk menanggapi peningkatan elevasi pada landasan pacu tersebut, maka dilakukan perhitungan koreksi terhadap panjang landasan, yang bertambah sebesar 7% setiap kenaikan 300 m (1000 ft) dihitung dari ketinggian muka laut.

$$F_e = 1 + 0,07 h/300$$

b. Koreksi temperatur

Panjang landasan harus dikoreksi terhadap temperatur sebesar 1% untuk setiap kenaikan 1°C. Kenaikan suhu referensi atau airport reference temperature menyebabkan pengaruh sama seperti halnya penambahan ketinggian bandar udara. Koreksi akibat suhu didasarkan pada suhu standar atmosfer yaitu 15°C, sehingga untuk peningkatan elevasi bandar udara setiap

1.000 meter, maka temperatur berkurang 5,5° C. Persamaan untuk koreksi temperatur menjadi :

$$F_t = 1 + 0,01 (T - (15 - 0,0065 h))$$

c. Koreksi kelandaian landasan

Kelandaian efektif merupakan selisih perbedaan elevasi antara titik tertinggi dan terendah runway dibagi dengan total panjang runway. Koreksi kelandaian perlu dihitung karena pesawat memerlukan daya yang lebih saat lepas landas pada runway yang lebih curam, sehingga semakin panjang pula runway yang diperlukan pesawat

untuk mencapai kecepatan saat akan lepas landas. Faktor koreksi kemiringan (F_s) adalah sebesar 10% setiap kelandaian 1%.

$$F_s = 1 + 0,1 S$$

dengan :

T = suhu udara,

h = elevasi dari muka air laut,

S = kelandaian efektif landas pacu (%)

Data Teknis Bandara Internasional Soekarno-Hatta

Bandara Internasional Soekarno-Hatta merupakan bandara tersibuk di Indonesia, dengan pergerakan pesawat di tahun 2022 mencapai 300 ribu pergerakan dan jumlah penumpang mencapai 39,6 juta penumpang. Bandara yang melayani wilayah metropolitan Jakarta dan sekitarnya ini memiliki luas 19 km², dengan fasilitas 3 (tiga) landasan pacu dan 3 (tiga) terminal penumpang yang dapat melayani hingga 43 juta penumpang per tahun. Bandara yang dikelola oleh PT Angkasa Pura II ini memiliki kode referensi 4F dengan pesawat terbesar yang dapat dilayani adalah Airbus A380-800. Data Bandara Internasional Soekarno-Hatta yang dihimpun melalui PT Angkasa Pura II dapat dilihat dalam data berikut.

Tabel 2. Data Teknis Runway Bandara Internasional Soekarno-Hatta

Runway (Arah)	Dimensi Runway (Panjang x Lebar)	Kekuatan (PCN) dan Permukaan	Elevasi Threshold Runway
Runway Selatan (07L – 25R)	3.660 m × 60 m	111/R/D/W/T Rigid	34 FT
			27 FT
Runway Utara (07R – 25L)	3.600 m × 60 m	131/R/D/W/T Rigid	29 FT
			21 FT
Runway Ketiga (06 - 24)	3.000 × 60 m	89 F/C/X/T Asphalt	29 FT
			19 FT

Karakteristik Pesawat Boeing 747-8

Boeing 747-8 adalah turunan terbaru dari keluarga pesawat jenis 747 dan diproduksi dalam versi angkutan kargo (freighter) dan penumpang (passenger). Boeing 747-8 secara tampilan sekilas mirip dengan 747-400 namun dengan berat kotor yang lebih besar, badan pesawat yang lebih panjang, dan lebar sayap lebih besar. Boeing 747-8F atau 747-8 seri Freighter mempertahankan pintu kargo hidung 747-400F, yang memungkinkan pengguna

pesawat dapat memuat barang berukuran besar dengan mudah.

Boeing 747-8F memulai penerbangan perdananya pada bulan Oktober 2010, sedangkan 747-8 seri penumpang memulai layanan penerbangannya pada tahun 2012. Karakteristik pesawat Boeing 747-8 seri berdasarkan 747-8 *Airplane Characteristics for Airport Planning* dapat dilihat pada Tabel berikut.

Tabel 3. Karakteristik Pesawat Boeing 747 8

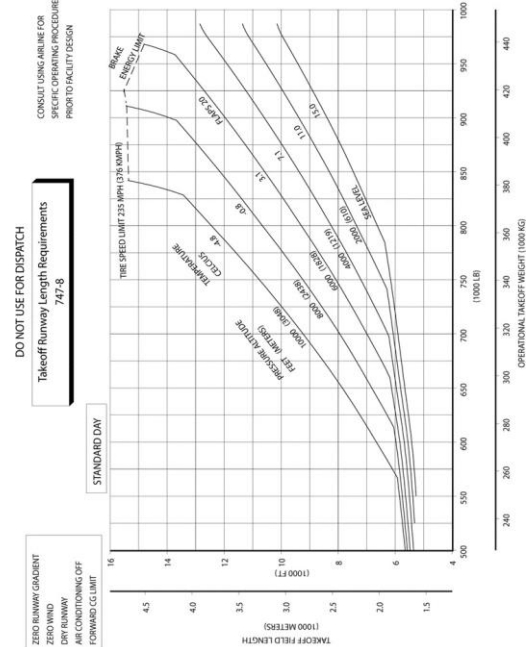
Karakteristik Boeing 747-8	
Panjang	76,25 m
Bentang Sayap (Wingspan)	68,40 m
Tinggi	19,56 m
Maximum Design Taxi Weight	449.056 kg
Maximum Design Take-off Weight	447.696 kg
Maximum Design Landing Weight	312.072 kg
Maximum Design Zero-Fuel Weight	295.289 kg
Operating Empty Weight	220.128 kg

Adapun pada perhitungan ARFL, karakteristik pesawat yang digunakan adalah Maximum Take-off Weight (MTOW). MTOW atau Berat Lepas Landas Maksimum merupakan beban maksimum pesawat yang disyaratkan tepat saat pesawat sebelum lepas landas. MTOW biasanya dirancang sebagai berat lepas landas maksimum untuk pesawat yang beroperasi pada ketinggian permukaan laut pada suhu 59°F (15°C). MTOW ini adalah pengukuran berat desain standar yang digunakan dalam perencanaan dan desain bandara, seperti penentuan tebal perkerasan runway dan panjang runway.

Federal Aviation Administration (FAA) merupakan lembaga yang membuat dan mengatur regulasi penerbangan sipil yang berada di Amerika Serikat. FAA dan produsen pesawat udara di dunia telah merancang dan mempublikasikan kurva performa berbagai jenis pesawat. Kurva performa ini digunakan sebagai data untuk merancang panjang runway dalam perencanaan bandar udara. Kurva tersebut diperoleh berdasarkan pengujian terbang secara aktual disertai data-data operasional.

Berdasarkan manual 747-8 *Airplane Characteristics for Airport Planning* yang dikeluarkan oleh pabrik Boeing *Commercial Airplanes*, kurva performa untuk kebutuhan pesawat Boeing 747-8 lepas landas dalam kondisi MTOW pada

kondisi temperatur standar dapat dilihat pada Gambar 1 berikut. Tabel 4. Data Teknis Runway Ketiga Bandara Soekarno-Hatta



Gambar 1. Kurva Kebutuhan Panjang Landas Pacu untuk Lepas Landas Pesawat Boeing 747-8 Kondisi MTOW

METODOLOGI



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

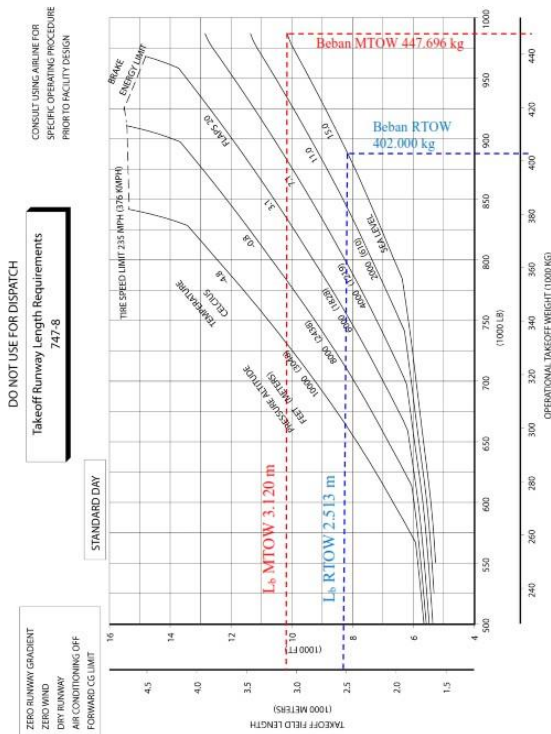
ANALISA DATA

Analisis dilakukan terhadap nilai ARFL atau kebutuhan panjang landas pacu setelah terkoreksi faktor-faktor lingkungan bandar udara, dengan data Runway Ketiga Bandara Internasional Soekarno-Hatta sebagai berikut.

1.	Arah Azimuth Landas Pacu Runway Designation Number	06/24
2.	Dimensi (Panjang × Lebar)	3.000 m × 60 m
3.	Pavement Classification Number (PCN)	89 F/C/X/T
4.	Permukaan	Aspal
5.	Tahun Konstruksi	2018 - 2019
6.	Mulai Beroperasi	20 Desember 2019
7.	Elevasi (di atas muka air laut)	Runway 06 : 8,83 meter Runway 24 : 5,79 meter Rerata : 7,31 meter
8.	Kemiringan Memanjang Landas Pacu	0,1%
9.	Suhu Maksimum Rata-rata	32° C
10.	Pesawat Terkritik Rencana	Boeing 777-300ER

Berdasarkan data yang telah diperoleh tersebut, data yang digunakan dalam perhitungan kebutuhan panjang landas pacu terkoreksi atau *Aeroplane Reference Field Length* (ARFL) yaitu data elevasi dan suhu dan kemiringan runway.

Berdasarkan manual 747-8 *Airplane Characteristics for Airport Planning*, kurva performa untuk kebutuhan pesawat Boeing 747-8 lepas landas dalam kondisi MTOW, pada level muka air laut dan kondisi temperatur standar yaitu 15°C dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Kurva Performa Lepas Landas Boeing 747-8 berdasarkan 747 8 *Airplane Characteristics for Airport Planning*

Pada kondisi tersebut, maka dalam kondisi MTOW pesawat Boeing 747-8 seberat 447.696 kg dapat ditarik garis dari kurva tersebut, dengan menghasilkan nilai panjang runway dasar lepas landas atau *Take-off Field Length* (L_b) sebesar 3.120 meter.

Perhitungan *Aeroplane Reference Field Length* (ARFL)

a. Koreksi Elevasi

Elevasi rerata runway ketiga Bandara Internasional Soekarno-Hatta (h)

diperoleh 7,31 meter di atas muka air laut, sehingga koreksi elevasi dapat dihitung :

$$\begin{aligned} F_e &= 1 + 0,07 h/300 \\ &= 1 + 0,07 (7,31)/300 \\ &= 1,01 \end{aligned}$$

b. Koreksi Suhu

Suhu maksimum rata-rata di bandar udara (T) diperoleh 32° C, sehingga perhitungan koreksi suhu adalah :

$$\begin{aligned} F_t &= 1 + 0,01 (T - (15 - 0,0065 h)) \\ &= 1 + 0,01 [32 - (15 - 0,0065 (7,31))] \\ &= 1,17 \end{aligned}$$

c. Koreksi Kelandaian Landasan

Berdasarkan elevasi kedua ujung runway ketiga (*threshold*) yang masing-masing adalah 8,83 meter dan 5,79 meter, maka dengan panjang runway 3.000 meter dapat dihitung kemiringan landasan sebesar 0,1% atau nilai (S) sebesar 0,1. Sehingga koreksi kelandaian landasan adalah :

$$\begin{aligned} F_s &= 1 + 0,1 S \\ &= 1 + 0,1 (0,1) \\ &= 1,01 \end{aligned}$$

Dengan demikian, maka dapat dihitung panjang runway setelah terkoreksi faktor-faktor lingkungan sekitar bandar udara, dengan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} L_a &= L_b \times F_e \times F_t \times F_s \\ &= 3.120 \times 1,01 \times 1,17 \times 1,01 \\ &= 3.723,77 \text{ meter} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan ARFL terkoreksi sebesar 3.723,77 meter, maka panjang eksisting runway ketiga Bandara Internasional Soekarno-Hatta sepanjang 3.000 meter, secara teori belum dapat digunakan untuk pesawat jenis Boeing 747-8 lepas landas dalam kondisi *Maximum Take-off Weight* (MTOW). Sehingga, runway ketiga Bandara Internasional Soekarno-Hatta relatif masih perlu dilakukan penambahan panjang $723,77 \approx 800$ meter, atau panjang total menjadi 3.800 meter.

Apabila pesawat jenis Boeing 747-8 lepas landas dengan panjang runway ketiga eksisting yaitu 3.000 meter (L_a), maka bobot pesawat secara teori harus dibatasi dalam rangka mengurangi kebutuhan panjang runway yang diperlukan untuk *take-off*. Dengan mengacu kepada kurva

performa pada Gambar 3, maka pembatasan beban pesawat atau nilai *Restricted Take-off Weight* (RTOW) dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$L_b = \frac{L_a}{F_e \times F_t \times F_s}$$

$$L_b = \frac{3.000}{1,01 \times 1,17 \times 1,01}$$

$$L_b = 2.513,57 \text{ meter}$$

Dari nilai panjang runway dasar lepas landas atau *Take-off Field Length* (L_b) yang dihasilkan sebesar 2.513,57 meter, maka dengan kurva performa Lampiran-1, dapat ditarik garis dengan menghasilkan beban pesawat yang dibatasi (RTOW) menjadi 402.000 kg, atau pengurangan beban sebesar 45.696 kg terhadap beban MTOW. Sehingga apabila pesawat jenis Boeing 747-8 lepas landas dari runway ketiga Bandara Internasional Soekarno-Hatta dengan panjang eksisting 3.000 meter, beban pesawat *take-off* maksimal adalah 402.000 kg.

KESIMPULAN

1. Runway ketiga Bandara Internasional Soekarno-Hatta dengan panjang yang ada saat ini, yaitu 3.000 meter secara teori belum mampu untuk digunakan pesawat jenis Boeing 747-8 lepas landas dalam kondisi *Maximum Take-off Weight* (MTOW) seberat 447.696 kg.
2. Faktor-faktor lingkungan sekitar bandar udara yang memengaruhi kebutuhan panjang runway atau *Aeroplane Reference Field Length* (ARFL) di antaranya elevasi landas pacu terhadap muka air laut, suhu, serta kemiringan memanjang landas pacu.
3. Dengan hasil analisis yang dihasilkan bahwa panjang runway eksisting belum memenuhi persyaratan ARFL, maka diperlukan penambahan panjang runway sepanjang 800 meter, atau pembatasan beban pesawat sebesar 45.696 kg sehingga beban lepas landas maksimum menjadi 402.000 kg.

SARAN

Setelah dilakukannya penelitian ini,

agar dapat dipergunakan sebagai salah satu referensi pengelola bandar udara dalam melakukan rekayasa operasi pesawat Boeing 747-8 di Bandar Udara Internasional Soekarno-Hatta. Selain itu, studi dengan ruang lingkup yang sejenis kiranya dapat menjadi acuan, baik dalam perencanaan panjang sebuah landas pacu bandara baru maupun perpanjangan landas pacu bandara yang sudah ada. Namun demikian, selain faktor panjang landas pacu, perlu juga untuk dilakukan studi terkait aspek-aspek lain yang menyangkut keselamatan operasional pesawat udara.

DAFTAR PUSTAKA

- Ariawan, P., dkk. 2021. Analisis Kelayakan Panjang dan Tebal Perkerasan Runway Untuk Pesawat Jenis B737-900ER yang Beroperasi di Bandar Udara Banyuwangi. Program Studi Teknik Sipil, Universitas Pendidikan Nasional, Indonesia
- Damayanti, L. dan Widianty, D. 2020. Evaluasi Panjang dan Arah Landas Pacu di Bandar Udara Sultan Muhammad Kaharuddin Sumbawa. Spektrum Sipil
- Direktur Jenderal Perhubungan Udara. 2023. Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Udara Nomor PR 21 Tahun 2023 Tentang Standar Teknis dan Operasional Peraturan Keselamatan Penerbangan Sipil Bagian 139 (*Manual of Standard CASR Part 139*) Volume I Aerodrome Daratan. Jakarta: Kementerian Perhubungan
- Doganis. 2019. *Flying Off Course, Airline Economics and Marketing*. Taylor & Francis
- Horonjeff, Robert, dkk. 2010. *Planning & Design of Airports*. New York: McGraw-Hill.
- Hutomo, Halim P. dan Ahyudanari, E. 2018. Evaluasi Keselamatan Operasional Penerbangan dan Potensi Penambahan Rute di Bandara Sam Ratulangi Manado. Surabaya: Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
- International Civil Aviation Organization*

- (ICAO). 2020. *Aerodrome Design Manual Part 1 – Runways*
- Sartono, W., dkk. 2016. Bandar Udara: Pengenalan dan Perancangan Geometrik *Runway Taxiway* dan Apron. Yogyakarta: Gadjah Mada *University Press*
- Setiawan, Dian M., dkk. 2019. Analisis Panjang *Runway* Bandara Raden Inten II untuk Pendaratan dan *Take-off* Pesawat Airbus A330-200 dan A330-300. Semester Teknik
- Suweda, I Wayan, dkk. 2014. Analisis Prospek Operasional A380 dan B787 *Dreamliner* pada Bandar Udara Internasional Ngurah Rai Bali.
- Thepchalerm & Ho. 2021. *Impacts of COVID-19 on Airline Business: An Overview. Chiang Rai: Business Excellence and Logistics Research Centre*
- Wittmer et. al. 2011. *Aviation Systems, Management of the Integrated Aviation Value Chain*. Berlin: Springer