ANALISIS PERPANJANGAN DAN DESAIN KETEBALAN STRUKTUR PERKERASAN LENTUR *RUNWAY* BANDAR UDARA INTERNASIONAL I GUSTI NGURAH RAI

I Putu Dika Irvayana [1]
Jurusan Teknik Sipil
Politeknik Negeri Bandung
Jl. Gegerkalong Hilir, Bandung
i.putu.mtri21@polban.ac.id

Atmy Verani Rouly Sihombing
Jurusan Teknik Sipil
Politeknik Negeri Bandung
Jl. Gegerkalong Hilir, Bandung
atmyvera@gmail.com

Harmein Rahman
Jurusan Teknik Sipil
Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesha No. 10, Bandung
rahmanharmein@gmail.com

Abstract

I Gusti Ngurah Rai International Airport is developing the airside facilities by extending the runway and hoping the runway would accommodate the A380-000 which is larger than the current critical aircraft type B777-300ER. Lengthening the runway is one way to breakdown the heavy traffic, the larger aircraft certainly accommodate more passengers and cargo than the current operating aircraft. In this study, an analysis of the need for additional runway length along with the pavement structure design was carried out to accommodate A380-800, A340, B777-300ER, B747-400ER and B747-800. The analysis results show than an additional 1100 m on existing runway is needed to accommodate the 5 types of aircraft used in this analysis that able to take off in full load conditions. With 6% of CBR value, is needed a flexible pavement structure thickness 28,4 inch above the subgrade layer is required for 20 years pavement design.

Keywords: Runway, ACN/PCN, COMFAA, FAARFIELD, ARFL

Abstrak

Bandar Udara Internasional I Gusti Ngurah Rai tengah dalam tahap pembangan fasilitas sisi udara dengan melakukan pemanjangan *runway* dengan harapan *runway* dapat mengakomodasi pesawat jenis A380-800 yang lebih besar dibandingkan dengan pesawat terkritis saat ini tipe B777-300ER. Perpanjangan *runway* merupakan salah satu cara mengurai padatnya *traffic*, pesawat yang lebih besar tentunya dapat menampung penumpang dan *cargo* lebih banyak dibandingkan tipe pesawat yang beroperasi saat ini. Dalam penelitian ini, dilakukan analisis terhadap kebutuhan tambahan panjang *runway* beserta desain struktur perkerasan untuk mengakomodasi pesawat tipe A380-800, A340, B777-300ER, B747-400ER, dan B747-800. Hasil analisis menunjukan bahwa dibutuhkan tambahan *runway* sepanjang 1100 m pada panjang *runway* eksisting untuk mengakomodasi 5 tipe pesawat yang digunakan dalam analisis dapat melakukan *take-off* dalam kondisi *full load.* Dengan nilai CBR 6%, dibutuhkan struktur perkerasan lentur setebal 28,4 in di atas permukaan *subgrade* untuk desain perkerasan 20 tahun.

Kata Kunci: *Runway*, ACN/PCN, COMFAA, FAARFIELD, ARFL

PENDAHULUAN

Seiring dengan melonggarnya aturan pemerintah terhadap situasi pandemi Covid-19 berdampak pada peningkatan aktivitas di berbagai sektor tidak terkecuali dalam industri penerbangan yang sempat mengalami *drop* beberapa waktu akibat dampak dari ketatnya peraturan pemerintah terhadap situasi pandemi (Yarlina et al., 2021). Peningkatan aktivitas penerbangan beriringan dengan meningkatnya kebutuhan transportasi udara dan *traffic* pesawat (Ng et al., 2022). Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk mereduksi jumlah

[1] Corresponding author: i.putu.mtri21@polban.ac.id

traffic pesawat tanpa mengurangi jumlah penumpang adalah dengan cara meningkatkan fasilitas infrastrukur agar dapat menampung tipe pesawat dengan jumlah muat penumpang dan *cargo* lebih besar (Wy & Suyastini, 2018). Seperti yang dilakukan di Bandar Udara Internasional I Gusti Ngurah Rai dengan pesawat terkritis tipe B777-300ER saat ini dalam tahap pengembangan fasilitas sisi udara (Sudika et al., 2021) dengan melakukan pemanjangan *runway* agar mampu mengakomodasi pesawat tipe A380-800 yang dinilai sebagai salah satu pesawat terbesar saat ini (Bethary et al., 2015).

Dimensi *runway* Bandar Udara Internasional I Gusti Ngurah Rai saat ini adalah 3000 x 45 m, dengan kekuatan *subgrade* kategori C dengan nilai CBR 6% (PT Angkasa Pura I (Persero), 2021) dinilai panjang *runway* belum memenuhi standar pesawat A380-800 sehingga dalam penelitian ini dilakukan analisis kebutuhan panjang *runway* menggunakan metode *Aeroplane Reference Field Length* (ARFL) dengan mempertimbangkan kondisi lingkungan (Khoemarga & Tajudin, 2020) dan dalam perancangan desain ketebalan struktur perkerasan *runway* mengacu pada FAA yang dinilai lebih relevan digunakan di Indonesia (Santoso et al., 2017).

DATA

Untuk memperoleh hasil yang ingin dicapai dalam penelitian ini, tentunya diperlukan sejumlah data terkait yang digunakan sebagai pedoman dan aspek pendukung dalam merancang tambahan panjang *runway* dan mendesain ketebalan struktur perkerasan *runway*. Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari PT Angkasa Pura I (Persero) Cabang Bali, selaku pengelola di Bandar Udara Internasional I Gusti Ngurah Rai dan Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Udara No: KP 39 Tahun 2015 tentang Standar Teknis dan Operasi Peraturan Keselamatan Penerbangan Sipil, selain itu juga mengacu kepada FAA AC 150/5320-6G tentang Desain dan Evaluasi Perkerasan Bandar Udara. Adapun data yang dimaksud sebagai berikut:

Data Pergerakan Pesawat dan Penumpang

Data pergerakan pesawat dan penumpang pertahun di Bandar Udara Internasional I Gusti Ngurah Rai merupakan data sekunder yang diperoleh dari bagian operasional PT Angkasa Pura I (Persero) Cabang Bali. Data yang diperoleh merupakan pergerakan dari tahun 2014 sampai tahun 2022, rekapitulasi yang dimaksud disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Pergerakan Pesawat dan Penumpang Periode 2014-2022

Tahun	Pesawat	Penumpang
2014	124668	17214837
2015	117947	16380241
2016	133432	19783445
2017	141613	20889847
2018	157199	23663286
2019	150197	23772172

Tahun	Pesawat	Penumpang
2020	54591	6223600
2021	36293	3776591
2022	37438	3985299

Sumber: PT Angkasa Pura I (Persero) Cabang Bali (2022)

Data Karakteristik Tipe Pesawat Rencana

Data karakteristik pesawat rencana diperoleh dari Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Udara Nomor KP 39 Tahun 2015 tentang Standar Teknis dan Operasi Peraturan Keselamatan Penerbangan Sipil, dengan tipe pesawat yang digunakan dalam perencanaan ini adalah pesawat A380-800, A340, B777-300ER, B747-400ER dan B747-800 yang disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik Pesawat Udara

No	*Aircraft Type*	*GW max* (lbs)	GW min (lbs)	*GW on Main Gear (lbs)*	*Tire Pressure* (psi)
1	A380-800	1267658	562179	56,59	216
2	A340	840402	410053	62,62	233
3	B777-300ER	777000	370000	92,44	221
4	B747-400ER	913000	390000	93,6	230
5	B747-800	990000	405000	94,7	221

Sumber: KP No 39, 2015

Tabel 2. Karakteristik Pesawat Udara (Lanjutan)

No	*Aircraft Type*	*Length* (m)	*Wings Width* (m)	*Height* (m)	*Seat Capacity*	*ARFL (m)*
1	A380-800	72,7	79,8	24,1	545	3350
2	A340	75,36	63,45	17,93	475	3400
3	B777-300ER	73,9	64,75	18,5	550	3100
4	B747-400ER	70,66	64,44	19,4	660	3260
5	B747-800	76,3	68,4	19,4	605	3300

Sumber: KP No 39, 2015

Data Kondisi Lingkungan *Runway*

Dalam merancang kebutuhan panjang *runway* terhadap tipe pesawat yang beroperasi dibutuhkan data pendukung berupa elevasi (h) ketinggian dari perkerasan *runway* diatas permukaan laut, temperatur (T) pada kondisi eksisting dan sudut kemiringan/*slope* (S) dari perkerasan *runway*. Masing-masing nilai setiap parameter disajikan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Nilai Elevasi, Temperatur Dan Kemiringan *Runway*

Elevasi (h)	*Temperature* (T)	*Slope* (S)
3,28	33,8	0,089
mdpl	˚C	%

Sumber: PT Angkasa Pura I (Persero) Cabang Bali (2022)

Data Standar Desain Struktur Perkerasan Lentur *Runway*

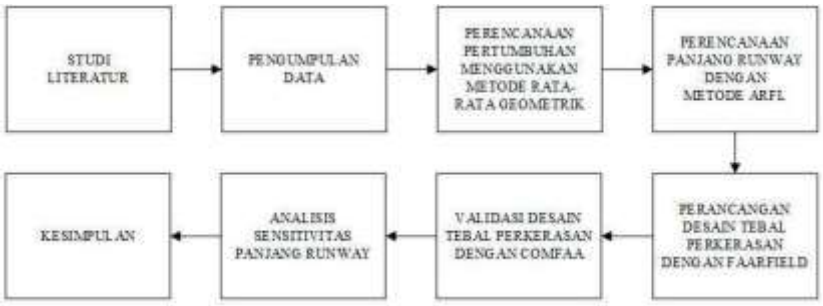
Dalam perancangan desain ketebalan struktur perkerasan *runway* terhadap tipe pesawat yang beroperasi mengacu pada desain tebal minimum perkerasan lentur *runway* yang diterbitkan oleh FAA AC 150/5320-6G dengan rincian disajikan dalam Tabel 4.

Tabel 4. Tebal Minimum Struktur Perkerasan Lentur *Runway*

Tipe Lapisan	FAA Spesifikasi Item	Berat Maksimum Pesawat yang Diizinkan Beroperasi, lbs (kg)		
		< 60.000 (27,215)	< 100.000 (45,360)	> 100.000 (45,360)
Permukaan aspal	P-401/ P-403	3 in (75 mm)	4 in (100 mm)	4 in (100 mm)
Lapis terstabilisasi	P-401/ P-403; P-304; P-306[3]	Tidak perlu	Tidak perlu	5 in (125 mm)
Lapis aggregat pecah	P-209, P-211	Tidak perlu	6 in (150 mm)	6 in (150 mm)
Lapis aggregat	P-207, P-208, P-210, P-212, P-213, P-219	3 in (75 mm)	Tidak perlu	Tidak perlu
Lapis pegering (jika ada)	P-307, P-407[7]	Tidak perlu	6 in (150 mm)	6 in (150 mm)
Pondasi bawah	P-154	6 in (150 mm)	6 in (150 mm)	6 in (150 mm)

Sumber: FAA AC 150/5320-6G (2021)

METODOLOGI



Gambar 1. Tahapan dalam penelitian

Perencanaan Pertumbuhan Penumpang dan Pergerakan Pesawat Udara

Analisis perhitungan pertumbuhan penumpang dan pertumbuhan pergerakan pesawat dilakukan menggunakan metode analisis rata-rata geometrik, agar diperoleh nilai peningkatan kumulatif yang mengacu pada peningkatan nilai di masa lalu yang dijadikan dasar untuk merefleksikan nilai peningkatan yang terjadi di masa depan (Hasan, 2005). Menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$r = \left(\frac{Pn}{Po}\right)^{\frac{1}{n}} - 1 \quad (1)$$

dimana,
Pn = Data pada tahun ke-n dari tahun terakhir
Po = Data pada tahun terakhir yang diketahui
n = Tahun ke-n dari tahun terakhir
r = Tingkat pertumbuhan rata-rata

Perencanaan Panjang *Runway* Terhadap Tipe Pesawat Udara

Analisis perhitungan panjang landasan pacu dilakukan menggunakan metode *Aeroplane Reference Field Length* (ARFL) berdasarkan pengaruh kondisi lingkungan terhadap parameter-parameter berupa elevasi *runway* dari atas permukaan laut, temperatur, kemiringan *runway*, dan angin permukaan (Khoemarga & Tajudin, 2020). Namun, dalam perancangan ini parameter berupa angin permukaan diabaikan. (Priyanto et al.,) Menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$ARFL = (ARFLrencana\ x\ Ft\ x\ Fe\ x\ Fs) + Fw \quad (2)$$

dimana,
$ARFL_{rencana}$ = Panjang *runway* rencana (m)
Ft = Faktor koreksi temperatur
Fe = Faktor koreksi ketinggian
Fs = Faktor koreksi kemiringan
Fw = Faktor koreksi angin permukaan.

Perencanaan Desain Ketebalan Struktur Perkerasan *Runway*

Analisis perancangan desain ketebalan struktur perkerasan pada *runway* baru dilakukan menggunakan *software* FAARFIELD yang mengimplementasikan prosedur *finite element* dan *layer elastic* untuk merencanakan struktur perkerasan baru maupun merencanakan penambahan *overlay* untuk struktur perkerasan kaku dan lentur (Tamagusko & Ferreira, 2020). *Software* yang dibuat oleh FAA ini menggunakan parameter nilai regangan horizontal maksimum di bawah lapisan beraspal dan menggunakan nilai regangan vertikal maksimum pada bagian tanah dasar untuk memprediksi umur layan dari stuktur perkerasan *runway* (FAA, 2021).

Penilaian Kondisi Struktur Perkerasan *Runway* Terhadap Karakteristik Pesawat Udara

Penilaian kondisi struktur perkerasan rencana hasil rekomendasi desain *software* FAARFIELD dilakukan menggunakan *software* COMFAA dengan bantuan *Microsoft Excel Spreadsheet* agar diperoleh *pavement equivalent thickness* yang selanjutnya menjadi parameter input dalam *software* COMFAA, selain data karakteristik pesawat, nilai CBR dan *traffic* (FAA, 2021). Tujuan analisis untuk menilai kemampuan daya dukung struktur perkerasan (PCN) menerima dampak dari tipe pesawat yang beroperasi pada struktur

perkerasan (ACN), sekaligus juga memvalidasi hasil desain *software* FAARFIELD bahwa desain ketebalan yang direkomendasikan sudah teruji kelayakannya.

HASIL DAN ANALISIS

Hasil

1. Prediksi Pertumbuhan Penumpang dan Pergerakan Pesawat

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan metode analisis rata-rata geometri, diperoleh bahwa pesawat memiliki nilai tingkat pertumbuhan rata-rata 3,15% dan penumpang memiliki nilai tingkat pertumbuhan rata-rata 5,52% seperti yang disajikan dalam Tabel 5. Adapun parameter Pn yang digunakan adalah data tahun 2019 karena *trend* peningkatan pertumbuhan berakhir di tahun 2019, karena pada tahun 2020 dan 2021 pergerakan penumpang maupun pesawat di Bandar Udara Internasional I Gusti Ngurah Rai mengalami *drop* akibat Pandemi Covid-19.

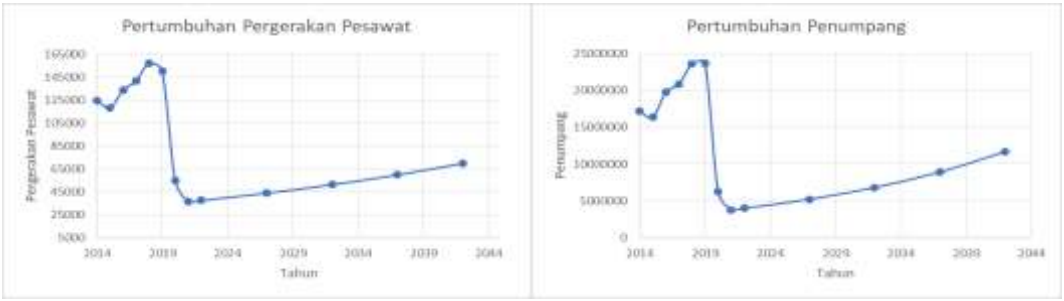
Tabel 5. Tingkat Pertumbuhan Rata-Rata Penumpang dan Pesawat

	Pn (2019)	Po (2014)	Pn/Po	r (%)
Pesawat	150197	124668	1,204776	0,031536
Penumpang	23772172	17214837	1,380912	0,055264

Persentase tingkat pertumbuhan rata-rata pesawat dan penumpang selanjutnya digunakan sebagai acuan untuk memprediksi jumlah penumpang dan pergerakan pesawat untuk 20 tahun ke depan, karena FAA menyaratkan desain perkerasan *runway* baru minimal memiliki umur layan 20 tahun. Prediksi jumlah penumpang dan pergerakan pesawat pada tahun 2042 disajikan dalam Tabel 6 dan Gambar 2.

Tabel 6. Prediksi Jumlah Penumpang dan Pergerakan Pesawat Tahun 2042

Tahun	Pesawat	Penumpang
2027	43725	5215139
2032	51068	6824500
2037	59645	8930501
2042	69662	11686401



Gambar 2. Prediksi *Traffic* Pesawat dan Jumlah Penumpang Tahun 2041

2. Panjang *Runway* Optimum Terhadap Tipe Pesawat Udara

Hasil perhitungan ARFL (*Aeroplane Reference Field Length*) berdasarkan kondisi lingkungan diperoleh bahwa pesawat A380-800 dan A340 membutuhkan *runway* sepanjang 4100 m agar dapat melakukan *take off* dalam kondisi *full load*, sedangkan pesawat B777-300ER, B747-400ER dan B747-800 membutuhkan *runway* sepanjang 4000 m agar dapat melakukan *take off* dalam kondisi *full load* di Bandar Udara Internasional I Gusti Ngurah Rai, seperti yang disajikan dalam Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Perhitungan Panjang *Runway* Optimum Terhadap Setiap Tipe Pesawat

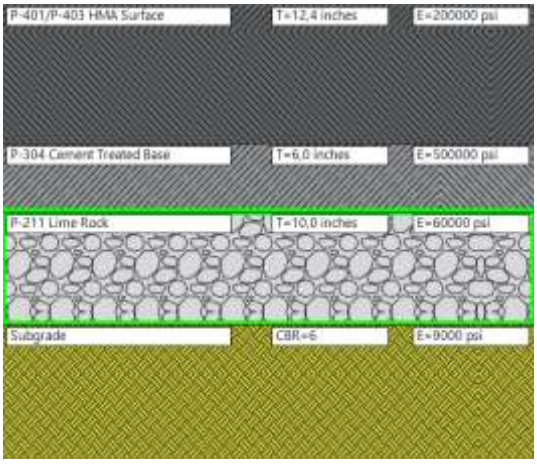
Aircraft Type	A380-800	A340	B777-300ER	B747-400ER	B747-800
Gross Weight Maximum (lbs)	1267658	840402	777000	913000	990000
ARFL (m)	3350	3400	3100	3260	3300
Fe	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001
Ft	1,188	1,188	1,188	1,188	1,188
Fs	1,009	1,009	1,009	1,009	1,009
Runway Length (m)	4019,0 4100	4079,0 4100	3719,1 4000	3911,0 4000	3959,0 4000

3. Desain Struktur Perkerasan Lentur *Runway*

Berdasarkan hasil perhitungan desain ketebalan struktur perkerasan lentur *runway* menggunakan *software* FAARFIELD dengan asumsi desain nilai CBR adalah 6% sama dengan nilai CBR pada perkerasan landasan pacu eksisting, maka rekomendasi dari *software* FAARFIELD adalah total ketebalan struktur perkerasan lentur di atas lapisan *subgrade* adalah 28,40 in. Dengan rincian ketebalan setiap lapisan penyusun disajikan dalam Tabel 8 dan Gambar 3.

Tabel 8. Desain Ketebalan Struktur Perkerasan Lentur *Runway* Baru

Tipe lapisan	Ketebalan	Satuan
HMA Surface (P-401/ P 403)	12,4	In
Cement Treated Base (P-304)	6	In
Lime rock (P-211)	10	In



Gambar 3. Desain Struktur Perkerasan Lentur Rekomendasi FAARFIELD

Analisis

1. Pengaruh *Traffic* dan Karakteristik Pesawat Udara Terhadap Struktur Perkerasan *Runway*

Rekomendasi desain ketebalan struktur perkerasan lentur *runway* dari *software* FAARFIELD selanjutnya dilakukan analisis berupa penilaian dampak dari jumlah *traffic* dan parameter dalam karakteristik pesawat terhadap daya dukung desain struktur perkerasan lentur *runway* menggunakan *software* COMFAA hasil analisis menunjukkan bahwa nilai ACN dari setiap pesawat yang dianalisis lebih rendah dari nilai PCN setiap pesawat (ACN<PCN) dan nilai *Cummulatif Damage Factor* (CDF) adalah 0,76 lebih rendah dari 1 (CDF<1) seperti yang tersaji dalam Tabel 9. Tentunya hasil desain ketebalan struktur perkerasan lentur *runway* yang direkomendasikan oleh *software* FAARFIELD dapat mengakomodasi pesawat A380-800, A340, B777-300ER, B747-400ER dan B747-800 selama 20 tahun masa layan.

Tabel 9. Hasil Rekapitulasi Analisis Menggunakan *Software* COMFAA

No	*Aircraft Type*	*Annual Departure*	ACN	PCN	CDF
1	A380-800	792	76,80	77,40	
2	A340	691	81,60	83,40	
3	B777-300ER	800	89,30	91,00	0,76
4	B747-400ER	960	77,80	79,40	
5	B747-800	880	88,60	91,10	

2. Sensitivitas Panjang *Runway* Terhadap Beban Ijin Pesawat Udara

Dalam penelitian ini dilakukan analisis sensitivitas untuk memperoleh korelasi antara pengaruh panjang *runway* terhadap beban ijin operasional pesawat. Untuk memperoleh nilai sensitivitas, maka dalam penelitian ini dicoba sebanyak 3 variasi panjang antara lain:

a. Panjang *runway* 3000 m, sesuai kondisi eksisting.
b. Panjang *runway* 3500 m, penambahan panjang runway 500 m
c. Panjang *runway* 4100 m, hasil analisis nilai ARFL tertinggi.

Selanjutnya, dilakukan analisis sensitivitas pada setiap variasi panjang *runway* terhadap beban ijin operasional untuk pesawat A380-800, A340, B777-300ER, B747-400ER dan B747-800. Hasil analisis sensitivitas setiap tipe pesawat tersaji dalam Tabel 10 sampai dengan Tabel 14.

Tabel 10. Sensitivitas Pesawat A380-800

Runway Length (m)	*Gross Weight* (lbs)	*Restricted* (%)	*Gross Weight Allowable* (%)
3000	927555	26,83	73,17
3500	1082147	14,63	85,37
4100	1267658	0,00	100,00

Tabel 11. Sensisitivitas Pesawat A340

Runway Length (m)	*Gross Weight* (lbs)	*Restricted* (%)	*Gross Weight Allowable* (%)
3000	614928	26,83	73,17
3500	717416	14,63	85,37
4100	840402	0,00	100,00

Tabel 12. Sensisitivitas Pesawat B777-300ER

Runway Length (m)	*Gross Weight* (lbs)	*Restricted* (%)	*Gross Weight Allowable* (%)
3000	582750	25,00	75,00
3500	679875	12,50	87,50
4100	796425	0,00	100,00

Tabel 13. Sensisitivitas Pesawat B747-400ER

Runway Length (m)	*Gross Weight* (lbs)	*Restricted* (%)	*Gross Weight Allowable* (%)
3000	684750	25,00	75,00
3500	798875	12,50	87,50
4100	935825	0,00	100,00

Tabel 14. Sensisitivitas Pesawat B747-800

Runway Length (m)	*Gross Weight* (lbs)	*Restricted* (%)	*Gross Weight Allowable* (%)
3000	742500	25,00	75,00
3500	866250	12,50	87,50
4100	1014750	0,00	100,00

Berdasarkan hasil analisis sensitivitas dari variasi panjang *runway* terhadap beban ijin operasional pesawat udara diperoleh hasil bahwa:

a. Dengan panjang *runway* eksisting 3000 m, pesawat tipe A380-800 dan A340 mengelami kondisi *restricted* sehingga beban operasional pesawat yang diijinkan adalah 73%, sedangkan pesawat tipe B777-300ER, B747-400ER, dan B747-7800 juga mengalami kondisi *restricted* sehingga beban operasional pesawat yang diijinkan sebesar 75% dari *maksimum gross weight.*
b. Dengan panjang *runway* 3500 m, pesawat tipe A380-800 dan A340 mengelami kondisi *restricted* sehingga beban operasional pesawat yang diijinkan adalah 85%, sedangkan pesawat tipe B777-300ER, B747-400ER, dan B747-7800 juga mengalami kondisi *restricted* sehingga beban operasional pesawat yang diijinkan sebesar 87,5% dari *maksimum grosss weight.*
c. Dengan panjang *runway* 4100 m, pesawat tipe A380-800, A340, B777-300ER, B747-400ER, dan B747-7800 tidak mengalami kondsi *restricted* sehingga beban operasional yang diijinkan sebesar 100% dari *maksimum gross weight.*

KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan di atas, dapat disimpulkan bahwa:

1. Pesawat tipe A380-800 dan A340 memerlukan *runway* sepanjang 4100 m sedangkan pesawat tipe B777-300ER, B747-400, dan B747-800 memerlukan *runway* sepanjang 4000 m untuk melakukan *take off* dalam kondisi *full load* di Bandar Udara Internasional I Gusti Ngurah Rai dengan perhitungan panjang *runway* berdasarkan pengaruh kondisi lingkungan.
2. Desain struktur perkerasan *runway* baru untuk mengakomodasi pesawat A380-800, A340, B777-300ER, B747-400ER, dan B747-800 selama 20 tahun masa layanan adalah tipe struktur perkerasan lentur dengan nilai CBR 6% dengan ketebalan struktur di atas lapisan *subrgade* adalah 28,40 in.

3. Hasil analisis sensitivitas panjang *runway* terhadap beban ijin operasional untuk pesawat A380-800, A340, B777-300ER, B747-400ER, dan B747-800 menunjukan bahwa dibutuhkan *runway* sepanjang 4100 m agar semua pesawat dapat melakukan *take off* dalam kondisi *full load* sehingga diperlukan tambahan *runway* sepanjang 1100 m dari panjang *runway* eksisting di Bandar Udara Internasional I Gusti Ngurah Rai.

DAFTAR PUSTAKA

Bethary, R., Pradana, F., & Andriani, D. (2015). *Analisa Kelayakan Dimensi Runway, Taxiway, dan Apron (Studi Kasus Bandar Udara Soekarno-Hatta dengan Pesawat Airbus 380)*. *April*.

FAA. (2021). *Advisory Circular*.

Hasan, M. I. (2005). Pokok-pokok materi statistik 2: statistif inferensif. *Bumi Aksara*, 132–373.

Khoemarga, K. V., & Tajudin, A. N. (2020). Structural design of airport runway Case study: Jos Orno Imsula Moa Airport. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *852*(1). https://doi.org/10.1088/1757-899X/852/1/012013

Ng, K. K. H., Lee, C. K. M., Zhang, S. Z., & Keung, K. L. (2022). The impact of heterogeneous arrival and departure rates of flights on runway configuration optimization. *Transportation Letters*, *14*(3), 215–226. https://doi.org/10.1080/19427867.2020.1852496

Priyanto, H., Akhmadali, & Erwan, K. (n.d.). *Perencanaan sisi udara (runway, taxiway, dan apron) bandara baru di kabupaten ketapang*.

PT. Angkasa Pura I (Persero). (2021). *Annual Report PT. Angkasa Pura I. Manajemen Fasilitas Bandar Udara*, 166–169.

Santoso, S. E., Sulistiono, D., & Mawardi, A. F. (2017). Comparison study on flexible pavement design using FAA (Federal Aviation Administration) and LCN (Load Classification Number) code in Ahmad Yani international airport's runway. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *267*(1). https://doi.org/10.1088/1757-899X/267/1/012028

Sudika, I. G. M., Ngurah, I. G., Partama, E., & Agung, A. (2021). *Perkerasan Runway Bandara Internasional I Gusti Ngurah Rai-Bali*. *13*(01), 20–26.

Tamagusko, T., & Ferreira, A. (2020). Software tools for airport pavement design. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, *1160 AISC*(May), 66–76. https://doi.org/10.1007/978-3-030-45691-7_7

Wy, N. I., & Suyastini, D. (2018). *Evaluasi Panjang dan Pavement Classification Number (PCN) Landas Pacu Bandar Udara I Gusti Ngurah Rai Bali NI WY DIAN SUYASTINI, Ir. Djoko Murwono, M.Sc.*

Yarlina, L., Triastuti, U. H., Lindasari, E., Yuliana, D., Nugroho, D. A., & Sitompul, M. R. (2021). Persepsi Penumpang Angkutan Udara di Bandara Soekarno Hatta pada Natal 2020 dan Tahun Baru 2021 Pandemi Covid-19. *Warta Penelitian Perhubungan*, *33*(2), 103–112. https://doi.org/10.25104/warlit.v33i2.1821