

Perancangan Perpanjangan Runway Bandara I Gusti Ngurah Rai

Griselda Amadhea Caristyan dan Ervina Ahyudanari
Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: ervina@ce.its.ac.id

Abstrak—Bandara Internasional I Gusti Ngurah Rai adalah salah satu bandara tersibuk di Indonesia yang terletak di Provinsi Bali. Bali menjadi salah satu destinasi wisata bagi para wisatawan dalam negeri dan luar negeri, sehingga jumlah kedatangan di Bandara I Gusti Ngurah Rai dapat menimbulkan peningkatan jumlah kedatangan. Peningkatan dari *traffic* atau jumlah kedatangan di Bandara Ngurah Rai ini menyebabkan adanya kebutuhan baru pesawat dengan dimensi yang lebih besar atau disebut (*Wide Body Aircraft*). Perencanaan perpanjangan runway Bandara I Gusti Ngurah Rai ini sejalan dengan program PBB yaitu *Sustainable Development Goals* pada point ke-9 yaitu *Industry, Innovation, and Infrastructure* dengan membangun infrastruktur pada bandara terutama runway untuk mendukung peningkatan pergerakan pesawat dan penumpang bandara yang ada di Bandara I Gusti Ngurah Rai. Dalam perancangan perpanjangan runway ini berdasarkan pada pesawat yang akan dilayani Bandara Ngurah Rai adalah A380-800 (*Wide Body Aircraft*) dengan kapasitas *full-load*. Pada perencanaan runway Bandara Ngurah Rai juga mempertimbangkan fasilitas udara (*air side*). Perpanjangan runway Bandara Ngurah berada pada sisi barat runway eksisting yang berbatasan dengan laut. Ekspansi mencakup perencanaan ketebalan perkerasan untuk disepanjang perpanjangan runway. Daya dukung tanah dan kapasitas lalu lintas udara dipertimbangkan dalam merancang perkerasan dan fasilitas pendukung runway. Akibat pandemi Covid-19, terdapat penurunan pergerakan pesawat dan penumpang pada tahun 2019 hingga tahun 2021. Oleh karena itu, data dari tahun 2015 hingga 2018 digunakan untuk keperluan peramalan, dengan rencana 20 tahun hingga tahun 2043. Pada tahun berikut, Bandara I Gusti Ngurah Rai akan melayani 370,322 pergerakan pesawat dan 64,950,506 penumpang. Dengan adanya pergerakan pesawat A380-800 maka direncanakan dimensi runway adalah 3400 x 45 m dengan taxiway selebar 30 meter. Melalui perhitungan dengan metode matematis didapatkan kapasitas runway sebanyak 54 pergerakan/jam. Perencanaan perkerasan untuk runway dan taxiway menggunakan perkerasan lentur dengan ketebalan 1,128 mm.

Kata Kunci—Bandara I Gusti Ngurah Rai, Perpanjangan Runway, Perkerasan, SDG no 9.

I. PENDAHULUAN

BANDARA Udara Ngurah Rai dibangun pada tahun 1930 oleh Departement Voor Veer keer en Waterstaats (Departemen Pekerjaan Umum) dengan landasan pacu sepanjang 700 meter di desa Tuban, Bali. Lokasi pembangunan tersebut dipilih karena jaraknya yang cukup jauh dari pemukiman. Landasan pacu airstrip sepanjang 700 meter ini berupa ladang dan ujung utara nya berupa makam Desa Adat Tuban, Bali.

Dengan selesainya pembangunan terminal dan runway secara “*temporary*” pada Proyek Airport Tuban, pemerintah meresmikan pelayanan penerbangan internasional di Pelabuhan Udara Tuban pada tanggal 10 Agustus 1966. Selanjutnya, pada tanggal 1 Agustus 1969, nama Pelabuhan

Tabel 1.
Jumlah Pergerakan Pesawat dan Penumpang Bandara I Gusti Ngurah Rai

Tahun	Jumlah Pergerakan Pesawat		Jumlah Penumpang	
	Penerbangan Domestik	Penerbangan Internasional	Penumpang Domestik	Penumpang Internasional
2014	78,456	51,704	9,005,601	8,251,063
2015	74,599	51,747	8,469,469	8,544,244
2016	81,093	58,016	9,937,892	9,961,467
2017	82,378	64,035	10,056,509	10,945,957
2018	89,646	72,961	11,114,124	12,516,665
2019	81,866	73,468	9,931,895	13,802,897
2020	39,700	16,473	3,514,364	2,536,062
2021	41,825	673	3,709,398	516
2022	61,550	26,027	7,857,162	4,544,750

Tabel 2.
Data Kecepatan dan Perlambatan Pesawat Saat Landing

Ket. Pesawat	Vot (m/dt)	Vtd (m/dt)	Ve (m/dt)			a1 (m/dt ²)	a2 (m/dt ²)
			30°	45°	90°		
A	46.94	44.17	30.87	20.58	7.72	0.76	1.52
B	61.67	50	30.87	20.58	7.72	0.76	1.52
C	71.94	61.67	30.87	20.58	7.72	0.76	1.52
D	85	71.94	30.87	20.58	7.72	0.76	1.52
E	79.7	77.1	30.87	20.58	7.72	0.76	1.52
F	78.23	72.02	30.87	20.58	7.72	0.76	1.52

Udara Tuban menjadi Pelabuhan Udara Internasional Ngurah Rai (*Ngurah Rai international airport*).

Setelah proyek tersebut selesai terjadi lonjakan penumpang dan kargo di Bandara Ngurah Rai sehingga pada tahun 1990 dilakukan perpanjangan landasan pacu menjadi 3000 meter. Pada tahun 1990 – 1992 dilakukan proyek pengembangan Fasilitas Bandara dan Keselamatan Penerbangan (FBUKP) Tahap I meliputi Perluasan Terminal yang dilengkapi dengan garbarata (*aviobridge*), perpanjangan landasan pacu menjadi 3000 meter, relokasi taxiway, perluasan apron, renovasi dan perluasan gedung terminal, perluasan pelataran parkir kendaraan, pengembangan gedung kargo, gedung operasi serta pengembangan fasilitas navigasi udara dan fasilitas catu bahan bakar pesawat udara. Sampai dengan saat ini panjang runway tersebut tidak perubahan yaitu sebesar 3000 meter.

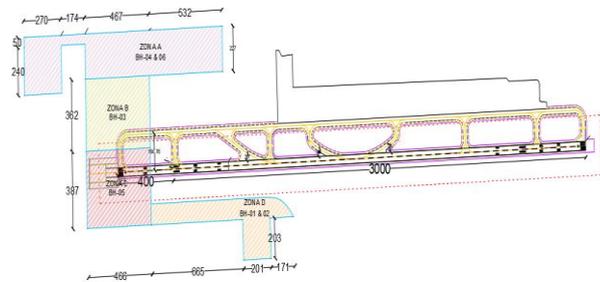
Berdasarkan data Direktorat Jenderal Perhubungan Udara Kementrian Perhubungan, saat ini Bandara Ngurah Rai dikelola oleh PT. Angkasa Pura I dengan klasifikasi bandara adalah Kelas IA. Jenis pesawat terbesar yang bisa dilayani adalah pesawat A380. Untuk panjang runway 3000 meter, jenis pesawat yang bisa mendarat di bandara tersebut adalah B747-SR, dan B747-SP [1].

Dengan adanya keinginan dari PT Angkasa Pura I agar Bandara Ngurah Rai mampu didarati lebih banyak pesawat berbadan besar (*wide body*) seperti B777-300 dan A380 dengan kapasitas full load. Panjang runway B777-300 adalah 3140 meter, sedangkan untuk pesawat A380-800 adalah 3350 meter. S. Berdasarkan panjang kebutuhan runway tersebut maka PT Angkasa Pura I ingin memperpanjang runway

sepanjang 400 meter, dengan demikian *runway* Bandara



Gambar 1. Hasil peramalan jumlah pergerakan pesawat Tahun 2023 – 2043.



Gambar 2. Lay-out perencanaan runway Bandara I Gusti Ngurah Rai.



Gambar 3. Grafik MTOW total.

Ngurah Rai akan menjadi 3400 meter [2].

Dengan adanya perpanjangan *runway* maka akan ada penempatan marka dan rambu-rambu baru dalam runway tersebut. Marka adalah tanda yang dituliskan atau digambarkan pada daerah pergerakan pesawat udara dengan maksud untuk memberikan suatu petunjuk, menginformasikan suatu kondisi (gangguan/ larangan) dan batas-batas keselamatan penerbangan. Sedangkan, rambu adalah simbol atau sekelompok yang diletakkan atau dipasang di daerah pergerakan pesawat udara yang bertujuan untuk memberikan informasi penerbangan [3]. Marka dan rambu ini menjadi sangat penting dalam konstruksi pada runway karena menjadi petunjuk, menginformasikan suatu kondisi, dan batas-batas keselamatan penerbangan.

Selama ini terdapat dua konstruksi dalam pembangunan runway yang berada dilaut yaitu dengan reklamasi konvensional dan *runway* terapung (*floating runway*). Reklamasi adalah suatu pekerjaan penimbunan tanah dengan skala volume dan luasan yang sangat besar, pada suatu kawasan atau lahan yang relatif masih kosong dan berair.

Runway terapung (*floating runway*) adalah runway yang dibuat terletak terapung dipermukaan laut. Salah satu konstruksi runway terapung berada di Jepang yang dibuat oleh Kementerian Pertanahan, Infrastruktur, dan Transportasi Jepang yang berada di Teluk Tokyo sepanjang 1000 meter.

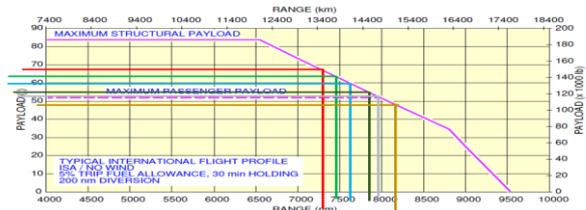
Bandara terapung (*floating airport*) adalah bandara yang

Tabel 3. Perhitungan ROT *Take-off* untuk Seluruh Jenis Pesawat

Kat. Pesawat	Jenis Pesawat	V2 (knots)	V2 (m/s)	TOFL (m)	ROTT (s)
B	ATR 72	115	58.65	1279	43.61
	B737	150	76.5	2100	54.90
	A320	145	73.95	2190	59.23
C	A320 N	145	73.95	1980	53.55
	A321	145	73.95	2450	66.26
	A321 N	145	73.95	2300	62.20
	B777	170	86.7	2850	65.74
E	A330	145	73.95	2480	67.07
	B787	165	84.15	2900	68.92
F	A380	170	86.7	3200	73.82

Tabel 4. Rekapitulasi *Fuel, Range, dan Payload*

Fuel	Range (nm)	Payload (kg)
206,000	7250	69,000
209,000	7490	66,000
215,000	7600	60,000
220,000	7800	55,000
223,000	7980	52,000
225,600	8150	49,400



Gambar 4. Grafik payload dan range A380-800.

dibangun dan terletak di atas struktur terapung yang sangat besar yang terletak bermil-mil jauhnya di laut dengan menggunakan perangkat jenis flotasi atau perangkat seperti teknologi *Pneumatic Stabilized Platform (PSP)*. Seiring dengan bertambahnya populasi dan tanah menjadi lebih mahal dan langka, struktur terapung yang besar seperti bandara dapat membantu menyelesaikan masalah penggunaan lahan, polusi, dan kebisingan pesawat.

Berdasarkan uraian diatas bisa disimpulkan bahwa runway di Bandara Ngurah Rai tidak memungkinkan untuk dibangun dengan sistem konstruksi *floating runway*, karena melihat dari kondisi eksisting runway Bandara Ngurah Rai konstruksi yang digunakan adalah konstruksi reklamasi, sehingga jika menggunakan konstruksi *floating runway* akan terjadi perbedaan elevasi pada *runway* tersebut. Sehingga, karena kondisi eksisting tersebut maka reklamasi adalah hal yang paling tepat dilakukan untuk konstruksi perpanjangan *runway* sepanjang 400 meter. Dengan adanya kebutuhan untuk reklamasi pada perpanjangan *runway* Bandara Ngurah Ra, maka diperlukan data elevasi reklamasi yang dibutuhkan, serta melihat apakah elevasi tersebut telah mempertimbangkan tebal perkerasan pada *runway* Bandara Ngurah Rai.

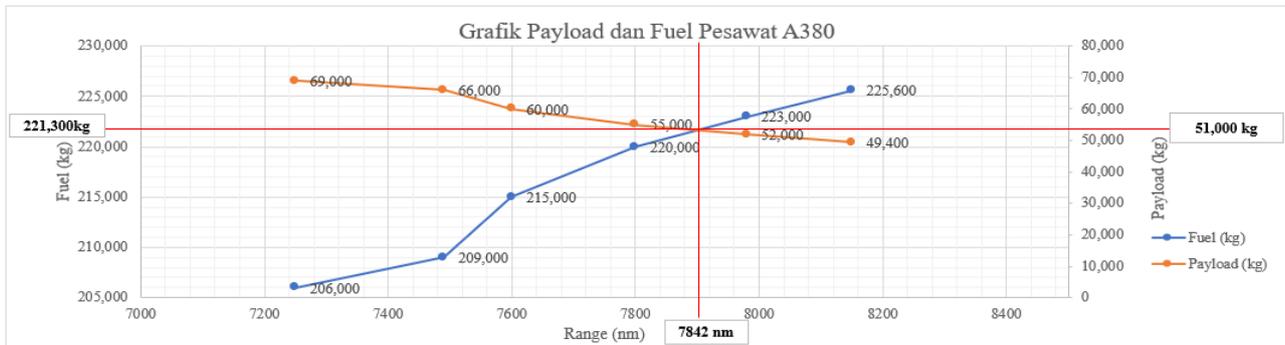
II. URAIAN PENELITIAN

A. Identifikasi Masalah

Pada tahapan identifikasi masalah, dilakukan dengan mencari permasalahan apa yang ada di Bandara Ngurah Rai. Setelah mengetahui permasalahan apa yang ada di Bandara

Tabel 5.
Rekap ROTL dan Presentasi Probabilitas pada Setiap Tipe Pesawat

Kategori Pesawat	Jenis Pesawat	ROTL (s)	Approach Speed (Vref) (knots)	Probabilitas Mix (%)		Total Probabilitas Mix (%)	Kode pesawat dari kecepatan Vref
				Kedatangan	Keberangkatan		
B	ATR72-600	43.61	113.00	6.25%	8.51%	14.76%	B
	B737-800	54.90	140.00	10.94%	17.02%	27.96%	C
C	B737-900	55.27	145.00	4.69%	2.13%	6.82%	D
	A320-200	59.23	137.00	59.38%	59.57%	118.95%	C
	A321-200	66.26	134.00	9.38%	6.38%	15.76%	C
E	B777-300	65.74	149.00	1.56%	2.13%	3.69%	D
	A330-300	67.07	130.00	3.13%	0.00%	3.13%	C
	B787-9	68.92	140.00	6.25%	6.38%	12.63%	C



Gambar 5. Grafik hubungan payload dan fuel terhadap range pesawat.

Ngurah Rai maka dilakukan dengan mencari data-data yang mendukung untuk menjawab rumusan masalah yang ada, yaitu data karakteristik pesawat terbesar yang dilayani Bandara Ngurah Rai, data karakteristik pesawat yang akan direncanakan oleh Angkasa Pura I, data *lay-out* sisi udara (*air side*) eksisting, data elevasi runway eksisting, data elevasi pekerjaan reklamasi sisi Barat runway eksisting, data daya dukung tanah (CBR) untuk merencanakan perkerasan, data curah hujan, dan data topografi untuk merencanakan drainase di sisi perpanjangan runway [3].

B. Pengumpulan Data

Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah data sekunder. Data sekunder yang dibutuhkan antara lain:

1. Data karakteristik pesawat terbesar di Bandara Ngurah Rai dari Direktorat Jenderal Perhubungan Udara Kementerian Perhubungan Republik Indonesia
2. Data karakteristik pesawat terbesar yang akan dilayani Bandara Ngurah Rai
3. Data *lay-out* sisi udara (*air side*) eksisting
4. Data elevasi *runway* pekerjaan reklamasi sisi Barat runway eksisting
5. Data daya dukung tanah (CBR) diharapkan didapatkan dari PT Angkasa Pura I Bandara Ngurah Rai. Jika data tersebut tidak ada maka data CBR diambil dari brosur pesawat rencana A380-800 dengan peraturan sesuai dengan FAA “*Pavement Design*”

C. Pengolahan dan Analisis Data

Pada tahap ini dari data-data yang sudah didapat selanjutnya, diolah sebagai data input untuk proses analisis. Beberapa analisis yang akan dilakukan antara lain:

1. Perhitungan perpanjangan *runway*
2. Perencanaan *lay-out* perpanjangan *runway*

3. Perhitungan kebutuhan peningkatan kapasitas di Bandara I Gusti Ngurah Rai
4. Penentuan elevasi perpanjangan runway
5. Perhitungan tebal perkerasan

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data Lalu Lintas Udara Bandara

Pada Tabel 1. Disajikan data historis jumlah pergerakan pesawat dan jumlah penumpang di Bandara I Gusti Ngurah Rai dari tahun 2014 sampai dengan tahun 2022 yang didapatkan dari Badan Pusat Statistik

B. Peramalan Lalu Lintas Udara

Peramalan lalu lintas udara dilakukan menggunakan analisis regresi. Dilakukan peramalan dan analisis regresi data historis pergerakan pesawat terhadap tahun dan data historis jumlah penumpang terhadap tahun. Peramalan jumlah pergerakan pesawat dan jumlah pesawat dilakukan pada tahun 2014 sampai dengan tahun 2018 sebelum terjadinya pandemi Covid-19 yang menyebabkan data tahun 2019 sampai dengan tahun 2021 mengalami penurunan, sehingga peramalan dilakukan selama 5 tahun sebelum terjadinya pandemi Covid-19. Peramalan atau *forecasting* dilakukan untuk umur rencana 20 tahun. Hasil peramalan pergerakan pesawat pada tahun 2023 – 2043 disajikan pada Gambar 1.

C. Peak Hour Volume

Berdasarkan perhitungan sebelumnya, volume tahunan rencana Bandara I Gusti Ngurah Rai pada tahun 2043 diperkirakan sebanyak 370, 322 pesawat. Dari jumlah tersebut dilakukan perhitungan untuk mengetahui kemampuan Bandara I Gusti Ngurah Rai dalam melayani operasional bandara. Perhitungan tersebut menggunakan dua metode yaitu, presentasi tahun eksisting dan *ashdord*.

1) Metode Presentase Tahun Eksisting

Metode ini dihitung berdasarkan data *peak hour* eksisting yang pada Bandara I Gusti Ngurah Rai selama satu minggu, sehingga didapatkan *peak hour volume* eksisting pada

Tabel 7.
Data Keberangkatan Rencana Masing-Masing Tipe Pesawat Du Bandara I Gusti Ngurah Rai pada tahun 2023

Jenis Pesawat	Keberangkatan Tahunan
A320-200	95,896
A320-200 NEO	4,918
A321-200	2,588
A321-200 NEO	4,271
A330-300	7,118
A330-900	388
ARJ21-700	129
ATR72-500	1,035
ATR72-600	8,282
B737-500	1,165
B737-800	39,471
B737-900	7,635
B777-200	906
B777-300	3,753
B787-8	4,271
B787-9	1,682
B787-10	1,812
A380-800	336

Bandara I Gusti Ngurah Rai adalah sebanyak 45 pergerakan/ jam, sehingga dari PHV eksisting tersebut dihitung presentase nya adalah sebagai berikut:

$$Presentase\ PHV = \frac{PHV}{Volume\ Mingguan} \quad (1)$$

$$Presentase\ PHV = \frac{45}{2842} = 1.58\%$$

Presentase tersebut digunakan untuk mencari PHV rencana pada tahun 2043.

$$\begin{aligned} Volume\ Mingguan &= Volume\ Tahunan/52 \\ &= 370,322/52 \\ &= 7,113\ pergerakan/ minggu \end{aligned}$$

Keterangan:

1 Tahun = 52 minggu

$$\begin{aligned} PHV\ rencana &= \% PHV \times Vol. Mingguan \\ &= 1.58\% \times 7,113 \\ &= 113\ pergerakan/ jam. \end{aligned} \quad (2)$$

Dari perhitungan diatas direncanakan pada jam puncak tahun 2043 terdapat 113 pergerakan perjam.

2) Metode Ashford

Berdasarkan pehitungan sebelumnya, didapatkan volume tahunan rencana Bandara I Gusti Ngurah Rai pada tahun 2043 diperkirakan sebanyak 370,322 pesawat. Dari jumlah tersebut dilakukan interpolasi pada data konversi volume jam puncak *Standar Busy Rate* atau SBR diantara jumlah pergerakan 370,000 dan 380,000, sehingga didapatkan konversi dari volume rata-rata harian ke volume harian puncak adalah 1.138 dan nilai rasio dari volume jam puncak dan volume harian puncak adalah 0.07909. Volume jam puncak yang telah ditemukan kemudian dikonversi menjadi *Standard Busy Rate* (SBR) dengan rasio 0.9501. Dengan rasio yang telah didapatkan, selanjutnya dilakukan perhitungan sebagai berikut.

1. Pergerakan Tahunan = 370,322 pesawat
2. Volume harian rata – rata = $\frac{370,322}{362} = 1014.58$ pesawat
3. Volume hari puncak = $1014.58 \times 1.138 = 1130.061$ pergerakan
4. Volume jam puncak = $1130.061 \times 0.07909 = 89.37915$

Tabel 6.
Tebal Perekerasan Lentur

Material	Tebal (in.)	Tebal (mm)	Tebal (cm)
P-401/P-403 HMA Surface	4.4	111.8	11
P-401/P-403 HMA Stabilized	7.7	195.6	20
P-209 Crushed Aggregate	6	152.4	15
P-154 Uncrushed Aggregate	26.3	668	67
Subgrade			

- pergerakan
5. Standard Busy Rate = $89.37915 \times 0.9501 = 84.91476 \approx 85$ pergerakan/ jam

Dari perhitungan yang didapatkan diatas pada jam puncak rencana pada tahun 2043 direncanakan terdapat 85 pergerakan perjam.

D. Perencanaan Geometrik Sisi Udara Bandara

Dalam perencanaan geometric sisi udara pada Bandara I Gusti Ngurah Rai direncanakan meliputi perencanaan *runway* dan *taxiway*.

1) Perencanaan Runway

Perencanaan geometrik *runway* untuk area perpanjangan *runway* sepanjang 400 meter direncanakan berdasarkan *layout* dan geometri eksisting Bandara I Gusti Ngurah Rai. Geometri *runway* direncanakan dengan dimensi 3400 x 45 m. Perencanaan perpanjangan *runway* tersebut dilakukan untuk melayani pesawat A380-800 adalah kategori 4F yang termasuk dalam kategori *wide body aircraft*. Perencanaan geometric *runway* dengan dimensi 3400 x 45 m sesuai dengan dapat dilihat pada Gambar 2.

2) Perencanaan Exit Taxiway

Perencanaan *exit taxiway* dilakukan untuk mempermudah pesawat keluar dari *runway* utamanya setelah menda sehingga *runway* dapat segera digunakan kembali. Data yang digunakan untuk merencanakan *exit taxiway*. Perencanaan *exit taxiway* direncanakan menggunakan *taxiway* dengan sudut 90°. Pemilihan *exit taxiway* dengan sudut 90° dipilih berdasarkan pertimbangan pesawat A380-800 dimana dengan *runway* rencana Bandara I Gusti Ngurah Rai yaitu 3400 meter. Pesawat A380-800 termasuk dalam kategori F, sehingga untuk mengurangi kecepatan ketika menuju *apron* dari *runway*. Pada Tabel 2 disajikan data kecepatan dan perlambatan pesawat saat landing [4].

Perhitungan untuk pesawat kategori F yang direncanakan keluar dari *runway* menggunakan *exit taxiway* dengan sudut 90°

$$\begin{aligned} V_{ot} &= 78.23\ m/dt \\ V_{td} &= 72.02\ m/dt \\ V_e(90^\circ) &= 7.72\ m/dt \\ a_1 &= 0.76\ m/dt^2 \\ a_2 &= 1.52\ m/dt^2 \end{aligned}$$

Jarak dari *runway threshold* ke titik *touchdown* dihitung sebagai berikut:

$$D_{td} = \frac{v_{ot}^2 - v_{td}^2}{2a_1} \quad (3)$$

$$D_{td} = \frac{78.23^2 - 72.02^2}{2 * 0.76}$$

$$D_{td} = 613.850 \text{ m}$$

Jarak dari titik touchdown ke *exit taxiway* dihitung sebagai berikut:

$$D_e = \frac{v_{td}^2 - v_e^2}{2a_2} \quad (4)$$

$$D_e = \frac{78.23^2 - 7.72^2}{2 * 1.52}$$

$$D_e = 1686.606 \text{ m}$$

Setelah didapatkan perhitungan diatas maka dilakukan perhitungan untuk koreksi jarak dari *threshold* ke *exit taxiway* dikoreksi terhadap suhu, elevasi, dan gradien.

a) Koreksi terhadap Elevasi

$$F_e = 1 + 0.07 \times \frac{h}{300} \quad (5)$$

$$F_e = 1 + 0.07 \times \frac{6}{300}$$

$$F_e = 1.0014$$

b) Koreksi terhadap Temperatur

$$F_t = 1 + 0.01 \times [Tr - (15 - 0.0065 \times h)] \quad (6)$$

$$Tr = Ta + \frac{1}{3}(Tm - Ta)$$

$$Tr = 31.52 + \frac{1}{3}(32 - 31.52)$$

$$Tr = 31.68^\circ C$$

$$F_t = 1 + 0.01 \times [31.68 - (15 - 0.0065 \times 6)]$$

$$F_t = 1.16719$$

c) Koreksi Gradien

$$F_g = 1 + 0.01 \times G \quad (7)$$

$$F_g = 1 + 0.01 \times 0.882\%$$

$$F_g = 1.0000882$$

d) De Koreksi

$$De \text{ koreksi} = De \times F_e \times F_t \times F_g$$

$$De \text{ koreksi} = 1686.606 \times 1.0014 \times 1.16719 \times 1.0000882$$

$$De \text{ koreksi} = 1971.5195 \text{ m}$$

Kemudian dihitung jarak dari *threshold* menuju *exit taxiway* (D). Perhitungan untuk kategori pesawat F dengan sudut 90° adalah sebagai berikut.

$$D = D_{td} + De \quad (8)$$

$$D = 613.850 + 1971.520$$

$$D = 2585.370 \text{ m}$$

Berdasarkan perhitungan diatas didapatkan jarak dari *threshold* menuju *taxiway* untuk pesawat A380-800 dengan kategori pesawat F dengan sudut 90° didapatkan panjang D_F adalah 2858.37 meter atau dibulatkan menjadi 2600 m. Panjang D_F ini dijadikan acuan dalam perencanaan geometrik exit taxiway pada Bandara I Gusti Ngurah Rai.

E. Perhitungan Runway Occupancy Time

Perhitungan *runway occupancy time* dilakukan untuk pengecekan hasil perencanaan geometri dan lay-out sisi udara Bandara apakah kapasitasnya sudah memenuhi volume yang harus dilayani Bandara I Gusti Ngurah Rai. Perhitungan *runway occupancy time* untuk pesawat A380-800 kategori F adalah sebagai berikut.

$$R_i = \frac{v_{ot} - v_{td}}{2a_1} + 3 + \frac{v_{td} - v_e}{2a_2} + t \quad (9)$$

$$R_i = \frac{78.23 - 72.02}{2 * 0.76} + 3 + \frac{72.02 - 7.72}{2 * 1.52} + 10$$

$$R_i = ROT \text{ landing} = 30.62 \text{ s}$$

Perhitungan ROT *take-off* untuk pesawat dengan kategori F adalah sebagai berikut.

$$R1 = 3200 \text{ m}$$

$$V2 = 170 \text{ knots} = 86.7 \text{ m/s}$$

$$ROTT = \frac{2(3200)}{86.7}$$

$$ROTT = 73.817 \text{ s}$$

Pada Tabel 3 disajikan perhitungan ROT *take-off* untuk seluruh jenis pesawat yang beroperasi di Bandara I Gusti Ngurah Rai.

Berdasarkan grafik yang terdapat pada Gambar 3 didapatkan MTOW aktual berdasarkan panjang runway 3400 m adalah 575.000 kg, selanjutnya dilakukan perhitungan *maximum payload* yang dapat diangkut oleh pesawat A380-800 sebagai berikut.

$$\text{Maximum Payload} = \text{MTOW Aktual} - \text{OEW} - \text{Fuel}$$

$$\text{Maximum Payload} = 575.000 - 300.000 - 206.000 = 69.000 \text{ kg} \quad (12)$$

Untuk mencari jarak tempuh (*range*) dari pesawat A380-800 dapat dicari berdasarkan payload dan konsumsi *fuel* pesawat pada kondisi optimum. *Payload* tidak boleh kurang dari 70% karena akan menyebabkan kerugian pada perusahaan, sehingga yang dilakukan perubahan pada pencarian jarak tempuh (*range*) dari pesawat A380-800 adalah menambah *fuel* dan juga akan mengurangi *payload* nya (Tabel 3). Contoh perhitungan untuk mendapatkan range nya adalah sebagai berikut.

$$\text{Payload} = \text{MTOW Aktual} - \text{OEW} - \text{Fuel} \quad (13)$$

$$\text{Payload} = 575.000 - 300.000 - 214.000$$

$$\text{Payload} = 61.000 \text{ kg}$$

F. Perhitungan Berat Pesawat dan Jarak Tempuh

Perhitungan berat pesawat dilakukan untuk mengetahui jarak tempuh pesawat yang berukuran widebody yaitu pesawat A380 dengan runway di Bandara I Gusti Ngurah Rai yang terbatas yaitu dengan runway sepanjang 3400 meter. Klasifikasi spesifikasi pesawat A380-800 adalah sebagai berikut :

- 1) *Max Design Take-off Weight* (MTOW) : 575.000 kg
- 2) *Max Design Zero Fuel Weight* (MDZFW) : 369.000 kg
- 3) *Operating Empty Weight* (OEW) : 300.000 kg

Perhitungan payload untuk pesawat A380-800 adalah sebagai berikut.

$$Payload = 369.000 - 300.000 = 69.000 \text{ kg} \quad (10)$$

Dari perhitungan diatas didapatkan payload untuk pesawat A380 adalah 69.000 kg. Dengan didapaknya angka payload A380-800 dapat dilakukan perhitungan untuk mencari *fuel* atau bahan bakar yang dapat diangkut oleh pesawat A380-800 dengan panjang runway yang terbatas.

$$Fuel = 575.000 - 300.000 - 69.000 = 206.000 \text{ kg} \quad (11)$$

Dari perhitungan diatas didapatkan jumlah *fuel* yang dapat diangkut oleh pesawat A380-800 dengan panjang runway terbatas sepanjang 3400 m dengan *fuel* sebanyak 206.000 kg. MTOW aktual didapatkan dari panjang runway yang akan direncanakan yaitu 3400 m (Gambar 3).

Rekap dari *payload*, *range*, dan *fuel* yang telah didapatkan dari grafik yang disajikan pada Gambar 4 direkap pada Tabel 4 yang selanjutnya dibuat grafik hubungan antara *payload* dan *fuel* terhadap *range*. Sehingga, dapat dicari besar konsumsi optimum *payload* dan *fuel* pada pesawat A380-800 yang disajikan pada Gambar 5.

Berdasarkan perhitungan *payload* dan *fuel* terhadap *range* pada pesawat A380-800 dapat menempuk jarak sebesar 7842 nautical miles mampu membawa payload sebesar 221,300 kg dan fuel sebesar 51,000 kg (Tabel 4).

G. Kapasitas Runway

Perhitungan kapasitas *runway* dilakukan untuk melakukan validasi terhadap desain dan *lay-out* Bandara I Gusti Ngurah Rai apakah sudah mampu melayani operasional Bandara I Gusti Ngurah Rai rencana pada tahun 2043 pada saat jam puncak.

Perhitungan kapasitas runway rencana Bandara I Gusti Ngurah Rai dengan menggunakan metode matematis. Pada Tabel 5 disajikan data rekap ROTL dan presentase probabilitas pada setiap tipe pesawat

Berdasarkan data diatas dihitung waktu pemakaian *runway* untuk landing pada setiap jenis pesawat.

$$E(R_i) = (P_1)(R_1) + (P_2)(R_2) + \dots + (P_n)(R_n) \quad (14)$$

Menggunakan persamaan 14 yang berdasarkan didapatkan nilai waktu pemakaian *runway* untuk *landing* rata-rata adalah sebagai berikut [5]:

$$E(R_i) = (P_1)(R_1) + (P_2)(R_2) + (P_3)(R_3) + (P_4)(R_4) + (P_5)(R_5) + (P_6)(R_6) + (P_7)(R_7) + (P_8)(R_8)$$

$$E(R_i) = (0.148)(34.59) + (0.280)(37.50) + (0.068)(37.50) + (1.189)(37.50) + (0.158)(37.50) + (0.037)(37.53) + (0.031)(37.53) + (0.126)(37.53)$$

$$E(R_i) = 75.996 \text{ detik}$$

Pesawat yang akan berangkat dapat diberangkatkan jika pesawat yang akan datang selanjutnya berada minimal pada jarak tertentu terhadap (δ_{ij}), yaitu 2 nm.

Sehingga, waktu yang dibutuhkan pesawat untuk menempuh jarak tersebut adalah sebagai berikut.

$$E\left(\frac{\delta_d}{V_j}\right) = (P_1)\left(\frac{\delta_d}{V_1}\right) + (P_2)\left(\frac{\delta_d}{V_2}\right) + (P_3)\left(\frac{\delta_d}{V_3}\right) + (P_4)\left(\frac{\delta_d}{V_4}\right) + (P_5)\left(\frac{\delta_d}{V_5}\right) + (P_6)\left(\frac{\delta_d}{V_6}\right) + (P_7)\left(\frac{\delta_d}{V_7}\right) + (P_8)\left(\frac{\delta_d}{V_8}\right) \quad (15)$$

$$E\left(\frac{\delta_d}{V_j}\right) = (0.148)\left(\frac{2}{113}\right) + (0.280)\left(\frac{2}{140}\right) + (0.068)\left(\frac{2}{145}\right) + (1.189)\left(\frac{2}{137}\right) + (0.158)\left(\frac{2}{134}\right) + (0.037)\left(\frac{2}{149}\right) + (0.031)\left(\frac{2}{130}\right) + (0.126)\left(\frac{2}{140}\right)$$

$$E\left(\frac{\delta_d}{V_j}\right) = 108.159 \text{ s}$$

Dari perhitungan diatas dilakukan perhitungan untuk memperkirakan waktu antar keberangkatan dan kedatangan

$$E(\Delta T_{ij}) \geq E(R_i) + E\left(\frac{\delta_d}{V_j}\right) + (n_d - 1)E(t_d) \quad (16)$$

$$E(\Delta T_{ij}) \geq 75.966 + 108.159 + (n_d - 1)73.367$$

$$E(\Delta T_{ij}) \geq 184.125 + 73.367 \times (n_d - 1)$$

Dari jumlah keberangkatan dan probabilitas yang telah dihitung, sehingga dihitung kapasitas *runway* untuk operasi campuran adalah sebagai berikut.

$$C_m = \frac{3600}{E(\Delta T_{ij})} (1 + \sum n_d P_{nd}) \quad (17)$$

$$C_m = \frac{3600}{133.283} (1 + 1 \times 100\%) = 54.02 \approx 54 \text{ pergerakan per jam}$$

Didapatkan bahwa untuk operasi campuran menggunakan metode matematis, *runway* rencana Bandara I Gusti Ngurah Rai dapat melayani hingga 54 pergerakan per jam. Jumlah ini kurang dari perencanaan *Peak Hour Volume* pada tahun rencana. Oleh karena itu, maka perlu adanya penambahan runway di Bandara I Gusti Ngurah Rai untuk memenuhi *Peak Hour Volume* yang direncanakan.

H. Perencanaan Perkerasan

Perencanaan perkerasan berdasarkan Perkerasan Bandara I Gusti Ngurah Rai direncanakan menggunakan *mix traffic* dari keberangkatan tahunan yang direncanakan hingga tahun 2043. Pada Tabel 6 disajikan *mix traffic* keberangkatan rencana di Bandara I Gusti Ngurah Rai.

Perkerasan pada runway dan taxiway direncanakan menggunakan perkerasan *flexible pavement* dengan nilai CBR 6%. Tebal dan jenis lapisan perkerasan lentur atau

flexible pavement disajikan pada Tabel 7. Berdasarkan perencanaan perkerasan lentur diatas didapatkan nilai PCR nya adalah 795/F/C/X/T.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan dalam studi ini didapatkan kesimpulan sebagai berikut: (1) Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan berdasarkan *runway* rencana yang direncanakan oleh Angkasa Pura I, maka panjang *runway* menjadi 3400 m. Panjang *runway* digunakan untuk melayani pesawat A380-800, maka dari itu dengan panjang *runway* tersebut didapatkan pesawat A380-800 dapat terbang sejauh 7,842 nm atau 14,523 km dengan membawa *fuel* sebanyak 221,300 kg dan *payload* sebanyak 51,000 kg. (2) Hasil perencanaan geometri *air-side* didapatkan panjang *runway* sepanjang 3400 m dengan lebar 45 m dan lebar *runway shoulder* selebar 10.5 m. Didapatkan lebar *taxiway* selebar 30 m untuk perencanaan di sisi perpanjangan *runway* sebelah barat dan dengan total lebar *taxiway* termasuk *shoulder* adalah 50 m. (3) Kapasitas *runway* rencana Bandara I Gusti Ngurah Rai hingga tahun 2043 dengan metode matematis didapatkan pergerakan sebanyak 54 pergerakan/jam. (4) Berdasarkan studi terdahulu terkait perencanaan reklamasi Bandara I Gusti Ngurah Rai didapatkan elevasi

untuk perencanaan reklamasi adalah +4.00. Dengan tinggi timbunan pada zona A adalah 14 m, Zona B adalah 9 m, Zona C adalah 13 m, dan Zona D adalah 6 m. (5) Dari hasil perencanaan perkerasan menggunakan FAARFIELD didapatkan tebal perkerasan lentur untuk *runway* dan *taxiway* P-401/P-403 HMA *Surface* setebal 111.8 mm, P-401/P-403 HMA *Stabilized* setebal 195.6 mm, P-209 *Crushed Aggregate* setebal 152.4 mm, dan P-154 *Uncrushed Aggregate* setebal 668.0 mm dengan total perkerasan yaitu 1,128 mm.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ICAO, *Aerodrome Design Manual - Runways (Doc 9157 - Part 1)*, 4th ed. France: International Civil Aviation Organization, 2020, ISSN: 9157P1.
- [2] International Civil Aviation Organization, *Aerodrome Design Manual-Runway (Part 1)*, 3rd ed. France: International Civil Aviation Organization, 2006.
- [3] P. R. Murphy, D. R. Dalenburg, and J. M. Daley, "Assessing international port operations," *Int. J. Phys. Distrib. & Mater. Manag.*, vol. 19, no. 9, pp. 3–10, 1989, doi: 10.1108/EUM0000000000334.
- [4] E. N. Primashanti and E. Ahyudanari, "Perencanaan Fasilitas Sisi Udara Terminal 3 Bandar Udara Juanda, Surabaya," Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2017.
- [5] R. Horonjeff, F. X. Mckelvey, W. J. Sproule, and S. B. Young, *Planning and Design of Airports*, 5th ed. New York: Mc Graw Hill, 2010, ISSN: 0071446419.