

ANALISIS PENGEMBANGAN GEOMETRIK DAN STRUKTUR PERKERASAN LENTUR TAXIWAY BANDAR UDARA FATMAWATI SOEKARNO BENGKULU

Sheilla Silvia^{1*}, Renti Odor Siahaan², dan Rini Septiani³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Bandung, Jl. Gegerkalong Hilir, Kabupaten Bandung, Indonesia

*Corresponding Author. E-mail: sheilla.silvia@polban.ac.id. Telp: 0822-8201-3636

Abstrak

Pertumbuhan ekonomi yang terus meningkat mendorong pengelola Bandar Udara Fatmawati Soekarno untuk mengembangkan fasilitas sisi udara. Sehingga diperlukan analisis terhadap pengembangan geometrik dan tebal perkerasan landas hubung kondisi eksisting maupun proyeksi di masa mendatang agar mampu menerima dan menahan beban pesawat rencana secara optimal. Penelitian ini dilakukan untuk pengembangan geometrik dan tebal perkerasan landas hubung yang akan di analisis serta mengevaluasi kondisi eksisting perkerasan lentur landas hubung dalam kemampuannya melayani beban lalu lintas udara hingga tahun 2041. Pengembangan geometrik pada landas hubung diolah menggunakan standar ICAO dan tebal perkerasan lentur landas hubung diolah menggunakan standar FAA lalu hasil pengembangan dan tebal perkerasan dibandingkan dengan kondisi eksisting aktual perkerasan lentur landas hubung di Bandar Udara Fatmawati Kota Bengkulu. Berdasarkan hasil analisis, diperoleh bahwa pengembangan geometrik telah memenuhi klasifikasi ICAO senilai *taxiway a* 95,945 m dan *taxiway b* 94,455 m, sehingga tidak perlu diadakan pengembangan tambahan. Serta diperoleh juga bahwa perencanaan struktur tebal perkerasan landas hubung tidak memenuhi klasifikasi FAA sehingga memerlukan *overlay* untuk kekurangan tebal perkerasannya senilai 29 cm.

Kata Kunci: Bandar Udara, landas hubung, ICAO, FAA

Abstract

Continuous economic growth has prompted Fatmawati Soekarno Airport management to develop airside facilities. Therefore, an analysis of the geometric development and thickness of the runway pavement, both existing and projected, is necessary to ensure optimal capacity for handling and supporting planned aircraft loads. This study was conducted to analyze the geometric development and thickness of the runway pavement, as well as to evaluate the existing condition of the flexible pavement in terms of its ability to serve air traffic loads through 2041. The geometric development of the runway was processed using ICAO standards, and the flexible pavement thickness was processed using FAA standards. The results were then compared with the actual existing flexible pavement conditions of the runway at Fatmawati Airport, Bengkulu City. Based on the analysis, the geometric development met the ICAO classification of 95.945 m for taxiway A and

94.455 m for taxiway B, thus no additional expansion is necessary. It was also found that the planned thickness of the runway pavement structure did not meet FAA classification requirements, requiring an overlay to cover the 29 cm shortfall in pavement thickness.

Keywords: Airport, taxiway, ICAO, FAA.

LATAR BELAKANG

Bandar Udara Fatmawati Soekarno di Kota Bengkulu merupakan Bandara domestik yang saat ini sedang dikembangkan untuk menjadi Bandar Udara International, khususnya guna melayani rute penerbangan haji dengan standar internasional. Oleh karena itu, pengembangan ini memerlukan evaluasi menyeluruh terhadap fasilitas, infrastruktur, serta layanan bandara yang ditujukan bagi pengguna penerbangan domestik maupun internasional, sehingga mampu memberikan kenyamanan serta efisiensi waktu perjalanan yang lebih optimal dibandingkan moda transportasi lainnya dalam mendukung mobilitas penumpang di berbagai wilayah Indonesia (Silvia et al., 2021).

Pertumbuhan pengguna transportasi udara di Bandar Udara Fatmawati Soekarno Kota Bengkulu meningkat signifikan sejak tahun 2023. Meskipun hanya ada penerbangan domestik, pergerakan jumlah penumpang setiap tahun menunjukkan peningkatan yang signifikan yang dikarenakan sektor pariwisata yang terus berkembang di Kota Bengkulu. Pertumbuhan naik 11,86% sebanyak 607.539 penumpang dibanding tahun sebelumnya yaitu sebanyak 543.143 penumpang. Dengan meningkatnya pertumbuhan penumpang sehingga diperlukan kemajuan sistem transportasi udara (Perhubungan, 2024).

Sisi udara Bandar Udara Fatmawati Soekarno, khususnya pada fasilitas landas hubung (taxiway), memiliki peranan penting dalam mengoptimalkan rute penerbangan dan kapasitas pelayanan penumpang. Hal ini disebabkan oleh landas hubung (taxiway) penghubung antara apron dan runway yang berpengaruh terhadap kemampuan bandara dalam melayani berbagai jenis pesawat yang melakukan aktivitas penerbangan (Nur Ulya & Darma, 2022). Melalui analisis pengembangan geometrik dan tebal perkerasan lentur pada sisi udara landas hubung (taxiway), dapat ditentukan jenis serta tipe pesawat yang sesuai agar dapat digunakan untuk mengoptimalkan mutu pelayanan kepada penumpang.

Oleh karena itu, pengembangan geometrik landas hubung (taxiway) perlu dianalisis berdasarkan standar dan aturan *International Civil Aviation Organization* (ICAO) dan tebal perkerasan landas hubung (taxiway) berdasarkan *Federal Aviation Administration* (FAA) untuk mengoptimalkan kualitas kinerja operasional Bandar Udara Fatmawati Soekarno. Analisis ini mempertimbangkan pesawat rencana Boeing 737-900ER agar mampu melayani pergerakan penumpang dan beban lalu lintas udara dengan tingkat kinerja secara optimal untuk jangka waktu yang direncanakan selama 20 tahun.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan melalui pengumpulan data primer yang meliputi survei, observasi, dan dokumentasi lapangan. Selain itu, data sekunder diperoleh dari Bandar Udara Fatmawati Kota Bengkulu yang bersumber dari PT Angkasa Pura II serta BMKG Kota Bengkulu. Data sekunder tersebut mencakup peta lokasi atau tata letak bandara, informasi spesifikasi dan kondisi eksisting bandara, data jumlah penumpang selama 10 tahun terakhir, data frekuensi penerbangan dan arus lalu lintas penerbangan dalam kurun waktu 10 tahun, data karakteristik pesawat terbang, data klimatologi, data kondisi tanah, serta data informasi mengenai ketersediaan lahan. Analisis pengembangan geometrik landas hubung menggunakan standar ICAO dan tebal perkerasan landas hubung menggunakan standar FAA (Rini et al., 2020).

Analisis pengembangan geometrik landas hubung (*taxiway*) perkerasan lentur meliputi penentuan lokasi *exit* landas hubung, lebar dan panjang landas hubung, kemiringan serta jarak pandang landas hubung, perencanaan kurva landas hubung, dan perancangan *fillet*. Selain itu, analisis juga mencakup perencanaan tebal perkerasan lentur landas hubung (*taxiway*).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Informasi umum Bandar Udara Fatmawati Soekarno Kota Bengkulu

Bandar Udara Fatmawati Soekarno Kota Bengkulu adalah Bandara yang berada dalam pengelolaan PT Angkasa Pura II dengan nama kode International Air Transport Association (IATA) BKS yang memiliki luas lahan 1.913.904 m², dengan luas taxiway a senilai 2.990 m² dan taxiway b senilai 3.432 m². Struktur perkerasan lentur taxiway terdiri atas lapisan permukaan (*surface course*) setebal 12,5 cm, lapisan pondasi atas (*base course*) setebal 15 cm, lapisan pondasi bawah (*subbase course*) setebal 30 cm, serta lapisan tanah dasar (*subgrade*) dengan nilai CBR senilai 6% (Angkasa Pura, 2019).

Analisis data metode *time series*

Proyeksi pergerakan penerbangan selama 20 tahun yang akan datang sangat diperlukan untuk memperkirakan jumlah pergerakan pesawat udara dan penumpang, guna memastikan Bandar Udara Fatmawati Soekarno Kota Bengkulu tetap berfungsi optimal dalam melayani kebutuhan transportasi udara masyarakat dan pendatang. Oleh sebab itu, peramalan pergerakan pesawat didasarkan pada data historis 10 tahun terakhir (Wulandari et al., 2022).

Perencanaan dan perancangan desain geometrik perkerasan lentur landas hubung (*taxiway*) menggunakan data tahunan pergerakan keberangkatan pesawat yang meliputi jumlah pergerakan keberangkatan tahun 2019, Lalu, dikelompokkan menurut jenis pesawat yang beroperasi dan jumlah pergerakan keberangkatan yang diuraikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Total Keberangkatan Pesawat Tahun 2019 (Perhubungan, 2019)

No	Tipe Pesawat	Jumlah Keberangkatan Tahun 2019	Presentasi Tipe Pesawat (%)
1	Boeing 737-800 NG	2117	53%
2	Airbus A-320	941	24%
3	Boeing 737-500	235	6%
4	ATR-72-500	470	12%
5	Cessna 208 Caravan	235	6%
Jumlah		3998	100%

Penelitian ini digunakan data lalu lintas udara metode *time series* yang menggunakan dua model yaitu regresi linier dan *exponential smoothing*. Analisis model regresi linear, didapatkan persamaan regresi linear yang diperoleh dari persamaan 1.

$$y = 1969.467 + 273.752x \quad (1)$$

dengan y = total pergerakan keberangkatan pesawat, x = tahun.

Persamaan ini memungkinkan kita untuk memprediksi jumlah keberangkatan pesawat di Bandara Fatmawati Soekarno di Kota Bengkulu untuk tahun 2039, dengan total 10.182 pesawat. Nilai R^2 dihitung sebesar 0,8525, menunjukkan bahwa variabel x (tahun) secara bersamaan memengaruhi variabel y (jumlah keberangkatan pesawat) sebesar 85,25%. Analisis model *exponential smoothing*, didapatkan persamaan koefisien determinasi yang diperoleh dari persamaan 2.

$$y = 2153,1e^{0,0814x} \quad (2)$$

dengan y = total pergerakan jumlah keberangkatan pesawat, x = tahun.

Persamaan ini memprediksi bahwa Bandara Fatmawati Soekarno di Kota Bengkulu akan memiliki 24.752 keberangkatan pesawat selama 20 tahun ke depan. Nilai R^2 adalah 0,8729, menunjukkan bahwa variabel x (tahun) secara bersamaan memengaruhi variabel y (jumlah keberangkatan pesawat) sebesar 87,29%.

Berdasarkan data yang didapatkan, maka digunakan persamaan model *exponential smoothing* dimana didapatkan nilai $R = 0,8729$ dimana R mendekati nilai 1, artinya terdapat indikasi keterkaitan sempurna antara variabel X dan Y . Berdasarkan hal tersebut, maka hasil peramalan (*forecasting*) dapat dikatakan valid, sehingga analisis pengembangan dan struktur perkerasan dapat dilanjutkan.

Pesawat terbang rencana (design aircraft)

Bandara Fatmawati Soekarno di Kota Bengkulu menggunakan Boeing 737-900ER, pesawat dengan Maximum Take Off Weight (MTOW) terbesar yang saat ini beroperasi (Perhubungan, 2019). Pesawat Boeing 737-900ER akan digunakan sebagai pesawat yang ditentukan untuk perhitungan studi, termasuk MTOW sebesar 85.139 kg (187.700 lbs) dan susunan dual wheel. Persyaratan teknis untuk Boeing 737-900ER yang diusulkan meliputi bentang sayap 35,79 meter, panjang badan pesawat 40,67 meter, tinggi 12,55 meter, dan kapasitas penumpang 189 orang (Boeing, 2020).

Perencanaan pengembangan perkerasan lentur taxiway Bandar Udara Fatmawati Soekarno Kota Bengkulu

Penentuan exit taxiway

Exit taxiway menghubungkan landasan pacu ke apron, dirancang pada sudut keberangkatan yang ditentukan, memungkinkan pesawat untuk dengan cepat meninggalkan landasan pacu dengan kecepatan yang relatif tinggi. Exit taxiway bertujuan untuk meminimalkan waktu okupansi landas pacu (runway) oleh pesawat yang akan mendarat. Penentuannya didasarkan pada jarak yang dibutuhkan pesawat sejak titik sentuh di *threshold* hingga mencapai kecepatan tertentu yang memungkinkan pesawat memasuki taxiway dengan sangat aman. Untuk pesawat rencana Boeing 737-900ER dengan design group C, data-datanya sebagai berikut :

$$S1 = 222 \text{ km/h} = (222 \times 1000) / 3600 = 62 \text{ m/dt}$$

$$S2 = 32 \text{ km/h} = (32 \times 1000) / 3600 = 9 \text{ m/det}$$

$$A = 1,5 \text{ m/det}^2 = 2,25 \text{ m/dt}$$

Jarak *touchdown* = 450 m diperoleh :

$$D = \frac{(S1)^2 - (S2)^2}{2a} = \frac{(62)^2 - (9)^2}{2 \times 2,25} = 836,23 \text{ m}$$

Dengan,

$$\text{Distance to Exit taxiway} = \text{Touchdown Distance} + D$$

$$\text{Distance to Exit Taxiway} = 450 + 836,23 = 1286,23 \text{ m} \approx 1287 \text{ m}$$

$L0 = 1287 \text{ m}$, ditentukan dalam kondisi standart *sea level*. Posisi jalur keluar landasan pacu yang telah dikoreksi, dengan mempertimbangkan ketinggian dan suhu, adalah sebagai berikut:

Koreksi yang diperhitungkan terhadap elevasi :

$$\begin{aligned} L1 &= L0 \times \left(1 + 0,03 \times \frac{h}{300}\right) \\ &= 1287 \times \left(1 + 0,03 \times \frac{15}{300}\right) \\ &= 1288,94 \text{ m} \end{aligned}$$

Koreksi yang diperhitungkan terhadap temperatur :

Syarat ICAO setiap kenaikan $5,6^\circ \text{ C}$ diukur dari 15° C , jarak bertambah 1%.

$$\begin{aligned} L2 &= L1 \times \left[1 + 0,01 \times \frac{T_{ref} - T_0}{5,6}\right] \\ &= 1288,94 \times \left[1 + 0,01 \times \frac{27,4 - 15}{5,6}\right] \\ &= 1317,481 \text{ m} \approx 1318 \text{ m} \end{aligned}$$

Bandara Fatmawati Soekarno di Kota Bengkulu diproyeksikan membutuhkan jarak 1318 meter dari titik sentuh di ambang landasan pacu hingga awal jalur keluar landasan pacu untuk pesawat Boeing 737-900ER yang dimaksud.

Penentuan lebar taxiway

Lebar landasan pacu dan secara keseluruhan, termasuk bahu landasan, sebagaimana diuraikan dalam ICAO (2013), ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Lebar *Taxiway* (ICAO, 2016)

Description	Code Letter				
	E	D	C	B	A
<i>Taxiway width</i>	23 m	23 m ^{a)} 18 m ^{b)}	18 m ^{c)} 15 m ^{d)}	10,5 m	7,5m
<i>Overall width of taxiway and shoulders</i>	44 m	38 m	25 m	-	-

Pesawat Boeing 737-900ER yang dijadwalkan tiba di Bandara Fatmawati Soekarno, Kota Bengkulu, diklasifikasikan sebagai kategori 4C.

Sehingga mendapatkan hasil :

Lebar *taxiway* = 18 m

Lebar total *taxiway* dan *shoulder* = 25 m

Bandar Udara Fatmawati Soekarno Kota Bengkulu dengan lebar kondisi eksisting senilai *taxiway* a 23 m dan lebar *taxiway* b 26 m. Sehingga digunakan dengan *code letter* yaitu 4C dengan *taxiway width* senilai 18 m, dalam (ICAO, 2013) lebar *taxiway* telah memenuhi standar dan aturan klasifikasi karena lebih lebar dari lebar yang diizinkan sehingga tidak memerlukan pengembangan.

Jarak minimum antara landasan pacu dan landasan pacu penghubung dapat ditentukan dari lebar landasan pacu untuk bandara dengan total lebar landasan pacu 300 meter dan bentang sayap 35,79 meter.

$$Jrt = 0,5 \times (LS + W_1)$$

$$= 0,5 \times (300 + 35,79)$$

$$= 167,90 \text{ m} \approx 170 \text{ m}$$

Penentuan panjang *taxiway*

Panjang *taxiway* sesuai dengan yang ditetapkan dalam (ICAO, 2013) dapat diperhitungkan dengan cara :

$$\text{Lebar } taxiway \text{ } a = 23 \text{ m}$$

$$\text{Lebar } taxiway \text{ } b = 26 \text{ m}$$

$$\text{Runway strip} = 150 \text{ m}$$

$$\text{Lebar runway} = 45 \text{ m}$$

$$\text{Clear 3 (C3)} = 15 \text{ m}$$

$$\text{Tailheight pesawat rencana (Boeing 737-900ER)} = 12,55 \text{ m}$$

$$\text{Wingspan pesawat rencana (Boeing 737-900ER)} = 35,79 \text{ m}$$

Untuk *taxiway* a :

Transversal slope :

$$= 7 \times \text{Tailheight pesawat rencana}$$

$$= 7 \times 12,55$$

$$= 87,85 \text{ m}$$

Nilai sisa :

$$= \text{Transversal slope} - (1/2 \text{ lebar } taxiway + 1/2 \text{ wingspan} + C3)$$

$$= 87,85 - (23/2 + 35,79/2 + 15)$$

$$= 87,85 - (11,5 + 17,895 + 15)$$

$$= 43,445 \text{ m}$$

Jadi Panjang *taxiway a* :

$$= (1/2 \text{ runway strip} - 1/2 \text{ lebar runway}) + \text{Nilai sisa}$$

$$= (150/2 - 45/2) + 43,445$$

$$= (75 - 22,5) + 43,445$$

$$= 95,945 \text{ m}$$

Untuk *taxiway b* :

Transversal slope :

$$= 7 \times \text{Tailheight pesawat rencana}$$

$$= 7 \times 12,55$$

$$= 87,85 \text{ m}$$

Nilai sisa :

$$= \text{Transversal slope} - (1/2 \text{ lebar taxiway} + 1/2 \text{ wingspan} + C3)$$

$$= 87,85 - (26/2 + 35,79/2 + 15)$$

$$= 87,85 - (13 + 17,895 + 15)$$

$$= 41,955 \text{ m}$$

Jadi Panjang *taxiway b* :

$$= (1/2 \text{ runway strip} - 1/2 \text{ lebar runway}) + \text{Nilai sisa}$$

$$= (150/2 - 45/2) + 41,955$$

$$= (75 - 22,5) + 41,955$$

$$= 94,455 \text{ m}$$

Panjang kondisi eksisting bandara senilai *taxiway a* 132,5 m dan panjang *taxiway b* 130 m. Sehingga telah memenuhi standar dan aturan klasifikasi karena panjang *taxiway a* dan *taxiway b* lebih panjang dari lebar yang diizinkan tidak perlu diadakan pengembangan.

Penentuan kemiringan dan jarak pandang *taxiway*

ICAO mengeluarkan persyaratan untuk mengatur dan menyesuaikan kemiringan dan jarak pandang (*sight distance*) diuraikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Kemiringan dan Jarak Pandang (ICAO, 2016)

Description	Code Letter				
	E	D	C	B	A
Kemiringan Memanjang Maksimum	1,5%	1,5%	1,5%	3%	3%
Perubahan Kemiringan Memanjang Maksimum	1%per 30m	1%per 30m	1%per 30m	1%per 25m	1%per 25m
Jarak Pandangan Minimum	300m dari 3m di atas	300m dari 3m di atas	300m dari 3m di atas	200m dari 2m di atas	150m dari 1,5m di atas
Kemiringan Transversal Maksimum dari Taxiway	1,5%	1,5%	1,5%	2%	2%

Kemiringan Transversal Maksimum dari Bagian yang diratakan pada Strip Taxiway					
a. Miring ke Atas	2,5%	2,5%	2,5%	3%	3%
b. Miring ke Bawah	5%	5%	5%	5%	5%

Sehingga mendapatkan nilai kemiringan memanjang maks 1,5 % dan jarak pandang min 300 m dari 3m diatas.

Penentuan kurva taxiway

Penentuan yang merubah arah pada *taxiway* sebaiknya dibuat seminimal mungkin dengan jari-jari lengkung yang cukup besar agar pergerakan pesawat saat berbelok dapat berlangsung dengan aman. Dalam kondisi tertentu, apabila belokan tajam tidak dapat dihindari dan jari-jari lengkung yang tersedia tidak mencukupi sehingga berpotensi menyebabkan roda pesawat keluar dari perkerasan saat *taxiing*, maka diperlukan pelebaran area perkerasan untuk menjamin adanya *wheel clearance*. Minimum *wheel clearance* diuraikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Minimum *Wheel Clearance* (ICAO, 2016)

Item	ICAO Aerodrome Reference Code Letter					
	A	B	C *)	D	E	F
Dmin	1,5 m	2,25 m	3m / 4,5 m	4,5 m	4,5 m	4,5 m

*) 3 m, apabila *taxiway* diperuntukan bagi pesawat yang memiliki *wheel base* < 18 m.
4,5 m, apabila *taxiway* diperuntukan bagi pesawat yang memiliki *wheel base* ≥ 18 m.

Sehingga dengan *code letter* 4C dan pesawat rencana Boeing 737-900ER yang memiliki *wheel base* 17,17 m mendapatkan hasil *minimum wheel clearance* adalah 3 m.

Penentuan perencanaan fillet

Fillet adalah pelebaran pada sisi bagian dalam yang terdapat di pertemuan dua atau lebih jalur pergerakan pesawat, seperti *runway*, *taxiway*, dan *apron*. Menurut ketentuan ICAO, jari-jari *fillet* harus sama atau lebih besar dari lebar *taxiway*. Sementara itu, FAA menetapkan ketentuan radius *fillet* pada pertemuan antara *runway* dan *taxiway* yang diuraikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Radius *Fillet* Pertemuan *Runway* dengan *Taxiway* (Khanna et al., 1999)

Angle of Intersection	Radius of Fillet			
	Small airport serving general aviation aircraft		Large airport serving transport category aircraft	
	(m)	(ft)	(m)	(ft)
0 – 45°	7,5	15	22,5	75
45 – 135°	15,0	50	30,0	100
More than 135°	60,0	200	60,0	200

Dari hasil perhitungan perencanaan pengembangan perkerasan lentur *taxiway* dengan lebar *taxiway* kondisi eksisting senilai *taxiway* a 23 m dan *taxiway* b 26 m dan didapatkan hasil senilai 18 m maka telah memenuhi standar dan aturan klasifikasi dan tidak perlu diadakan pengembangan, panjang *taxiway* kondisi

eksisting senilai *taxiway* a 132,5 m *taxiway* b 130 m dan didapatkan hasil senilai *taxiway* a 95,945 m *taxiway* b 94,455 m. Dengan demikian kondisi tersebut telah sesuai dengan standar dan aturan klasifikasi yang ditetapkan sehingga pengembangan tidak diperlukan. Kondisi diuraikan eksisting dan kondisi dibutuhkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Kondisi Eksisting dan Kondisi Dibutuhkan

	Kondisi Eksisting	Kondisi Dibutuhkan	Selisih
Panjang	132,5 m	95,945 m	36, 555 m
	130 m	94,455 m	35,055 m
Lebar	23 m	18 m	5 m
	26 m	18 m	8 m

Sehingga untuk panjang dan lebar *taxiway* telah sesuai dengan standar dan aturan klasifikasi dan pengembangan tidak diperlukan karena kondisi eksisting memiliki panjang dan lebar yang lebih besar daripada kondisi yang dibutuhkan.

Perencanaan tebal perkerasan lentur *taxiway* Bandar Udara Fatmawati Soekarno Kota Bengkulu

Klasifikasi tanah (Data nilai CBR tanah)

Bandar Udara Fatmawati Soekarno Kota Bengkulu memiliki data sekunder dengan nilai CBR tanah untuk *taxiway* a dan *taxiway* b yang akan digunakan dalam perencanaan ini yang dapatkan dari PT. Angkasa Pura II. Penentuan nilai CBR *subgrade* berdasarkan nilai PCN (*Pavement Clasification Number*) *taxiway* a dan *taxiway* b. Data Dilihat nilai CBR *subgrade* tersebut adalah sebagai berikut :

- a *Taxiway* a
Kekuatan Perkerasan PCN 46 F/C/X/T
Nilai CBR *subgrade* 6%
- b *Taxiway* b
Kekuatan Perkerasan PCN 51 F/C/X/T
Nilai CBR *subgrade* 6%

Penetapan jenis pesawat rencana

Jenis pesawat yang ditentukan digunakan untuk menentukan ketebalan perkerasan landasan pacu A dan B dengan mengacu pada *Maximum Take Off Weight* (MTOW) dari jenis pesawat yang berangkat dari Bandara Fatmawati Soekarno, Kota Bengkulu. MTOW untuk beberapa jenis pesawat dirinci dalam Tabel 7.

Tabel 7. Nilai MTOW untuk Jenis Pesawat (Boeing, 2020)

No	Tipe Pesawat	MTOW (kg)	MTOW (lbs)
1	Boeing 737-800 NG	78.245	172.500
2	Airbus A-320	73.500	162.040
3	Boeing 737-500	52.390	115.500
4	ATR-72-500	22.500	49.604
5	Cessna 208 Caravan	3.995	8.807
6	Boeing 737-900 ER	85.139	187.700

Jenis pesawat digunakan untuk perhitungan berdasarkan nilai MTOW. Pesawat yang dirancang adalah Boeing 737-900 ER dengan berat lepas landas

maksimum 85.139 kg (187.700 lbs) dengan susunan roda *dual wheel*.

Penentuan tipe roda pendaratan utama

Roda pendaratan utama berfungsi sebagai elemen penting dalam penilaian distribusi beban dari pesawat ke landasan pendukung. Distribusi beban ini terjadi ketika pesawat beroperasi, baik pada fase pendaratan maupun pada saat proses lepas landas (Paramahansa & Sari, 2022). Penentuan tipe roda pendaratan utama akan digunakan dalam proses penentuan ketebalan perkerasan *taxiway a* dan *taxiway b*. Dilihat dari jenis-jenis pesawat yang berangkat dari Bandar Udara Fatmawati Soekarno Kota Bengkulu. Konfigurasi roda untuk jenis pesawat yang diuraikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Konfigurasi Roda untuk Jenis Pesawat (Boeing, 2020)

No	Tipe Pesawat	Konfigurasi Roda
1	Boeing 737-800 NG	<i>Dual Wheel</i>
2	Airbus A-320	<i>Dual Wheel</i>
3	Boeing 737-500	<i>Dual Wheel</i>
4	ATR-72-500	<i>Dual Wheel</i>
5	Cessna 208 Caravan	<i>Single Wheel</i>
6	Boeing 737-900 ER	<i>Dual Wheel</i>

Berdasarkan konfigurasi roda didapatkan pesawat rencana yang digunakan yaitu pesawat jenis Boeing 737-900 ER dengan konfigurasi roda *dual wheel*.

Perhitungan jumlah keberangkatan tahunan (*annual departure*) pesawat campuran

Jumlah keberangkatan tahunan pesawat campuran atau yang dikenal sebagai R2 dihitung dengan mengalikan total pergerakan pesawat dalam satu tahun dengan faktor pengali roda pendaratan.

Perhitungan jumlah keberangkatan tahunan pesawat campuran tiap jenis pesawat:

- Boeing 737-800 NG = 2.117 pesawat
Faktor pengali dari *dual wheel* ke *dual wheel* = 1
 $R2 = \text{Jumlah pesawat} \times \text{Faktor pengali}$
 $= 2.117 \times 1$
 $= 2.117 \text{ pesawat}$
- Airbus A-320 = 941 pesawat
Faktor pengali dari *dual wheel* ke *dual wheel* = 1
 $R2 = \text{Jumlah pesawat} \times \text{Faktor pengali}$
 $= 941 \times 1$
 $= 941 \text{ pesawat}$
- Boeing 737-500 = 235 pesawat
Faktor pengali dari *dual wheel* ke *dual wheel* = 1
 $R2 = \text{Jumlah pesawat} \times \text{Faktor pengali}$
 $= 235 \times 1$
 $= 235 \text{ pesawat}$

- d. ATR-72-500 = 470 pesawat
 Faktor pengali dari *dual wheel* ke *dual wheel* = 1
 $R2 = \text{Jumlah pesawat} \times \text{Faktor pengali}$
 $= 470 \times 1$
 $= 470 \text{ pesawat}$
- e. Cessna 208 Caravan = 235 pesawat
 Faktor pengali dari *dual wheel* ke *dual wheel* = 0.8
 $R2 = \text{Jumlah pesawat} \times \text{Faktor pengali}$
 $= 235 \times 0,8$
 $= 188 \text{ pesawat}$

Hasil perhitungan total keberangkatan tahunan untuk pesawat campuran diuraikan pada Tabel 9.

Tabel 9. Hasil Perhitungan Total Keberangkatan Tahunan Pesawat Campuran

No	Tipe Pesawat	Total Keberangkatan Tahun 2019	Konfigurasi Roda	Faktor Pengali	R2
1	Boeing 737-800 NG	2117	<i>Dual Wheel</i>	1	2117
2	Airbus A-320	941	<i>Dual Wheel</i>	1	941
3	Boeing 737-500	235	<i>Dual Wheel</i>	1	235
4	ATR-72-500	470	<i>Dual Wheel</i>	1	470
5	Cessna 208 Caravan	235	<i>Single Wheel</i>	0,8	188
Jumlah		3998			3951

Sehingga dapat dilihat bahwa nilai R2 (jumlah keberangkatan tahunan) pesawat yang terbesar adalah pesawat jenis Boeing 737-800 NG dengan nilai R2 senilai 2.117 pesawat. Nilai R2 (jumlah keberangkatan tahunan) pesawat yang terkecil adalah pesawat jenis Boeing 737-500 dengan nilai R2 senilai 235 pesawat. Nilai R2 (jumlah keberangkatan tahunan) total untuk 5 jenis pesawat adalah 3951 pesawat.

Perhitungan beban roda pesawat campuran

W2 adalah nilai beban roda pesawat campuran yang diperoleh melalui perhitungan dengan mengalikan 0,95 terhadap *Maximum Take Off Weight* (MTOW), sehingga dihasilkan besaran beban untuk masing-masing jenis pesawat yang diuraikan pada Tabel 10.

Tabel 10. Hasil Perhitungan Beban Roda Pesawat Campuran (W2)

No	Tipe Pesawat	MTOW	Jumlah Roda	W2 (lbs)
1	Boeing 737-800 NG	172.500	4	40.969
2	Airbus A-320	162.040	4	38.485
3	Boeing 737-500	115.500	4	27.432
4	ATR-72-500	49.604	4	11.781
5	Cessna 208 Caravan	8.807	2	4.184

Berdasarkan Tabel 3.10 menjelaskan bahwa jenis pesawat dengan nilai W2 (beban roda pesawat campuran) terbesar adalah pesawat Boeing 737-800 NG senilai 40.969 lbs sedangkan bahwa jenis pesawat dengan nilai W2 (beban roda pesawat campuran) terkecil adalah pesawat Cessna 208 Caravan senilai 4.184 lbs.

Perhitungan *Equivalent Annual Departure* (EAD)

R1 didefinisikan sebagai *Equivalent Annual Departure* (EAD), yang mewakili jumlah keberangkatan tahunan yang sama yang dilakukan oleh pesawat yang ditunjuk. Dalam perhitungan ini, W1 menunjukkan beban roda pesawat yang dirancang, yaitu Boeing 737-900 ER, sebesar 44.579 lbs. Perhitungan EAD untuk kategori pesawat ini ditunjukkan pada Tabel 11.

Tabel 11. Hasil Perhitungan EAD untuk Jenis Pesawat

No	Tipe Pesawat	Jumlah Keberangkatan Tahun 2019	R2	W2	W1	R1
1	Boeing 737-800 NG	2117	2117	40.969	44.579	1.543
2	Airbus A-320	941	941	38.485	44.579	580
3	Boeing 737-500	235	235	27.432	44.579	73
4	ATR-72-500	470	470	11.781	44.579	24
5	Cessna 208 Caravan	235	188	4.184	44.579	5
<i>Equivalent Annual Departure</i>						2.225

Berdasarkan Tabel 11. diatas menjelaskan bahwa jenis pesawat dengan nilai R1 *Equivalent Annual Departure* (EAD) terbesar adalah pesawat Boeing 737-800 NG senilai 1.543 pesawat sedangkan bahwa jenis pesawat dengan nilai R1 *Equivalent Annual Departure* (EAD) terkecil adalah pesawat Cessna 208 Caravan senilai 5 pesawat. Nilai *Equivalent Annual Departure* (EAD) total untuk seluruh jenis pesawat adalah 2.225 pesawat.

Perhitungan tebal total perkerasan *taxiway*

Perhitungan tebal total *taxiway* menggunakan kurva dari FAA, *Airport Pavement Design and Evaluation*, AC No: 150/5320-6D. Data yang diperlukan sebagai berikut :

Nilai MTOW pesawat rencana : 187.700 lbs
 Nilai equivalent annual departure : 2.225 pesawat
 Nilai CBR subgrade : 6%

Nilai-nilai tersebut di plot ke dalam kurva desain tebal total perkerasan *taxiway* berdasarkan FAA, *Airport Pavement Design and Evaluation*, AC No: 150/5320-6D dan didapatkan tebal total *taxiway* senilai 34 inci (86,36 cm).

Perhitungan tebal lapis pondasi bawah (*subbase course*) perkerasan *taxiway*

Tebal lapisan pondasi bawah (*subbase course*) untuk *taxiway* dihitung dengan cara dan proses yang sama dengan cara perhitungan tebal total perkerasan *taxiway*. Nilai CBR *subbase* yang digunakan adalah 20%, nilai ini berdasarkan nilai CBR *subbase* minimum dari *Federal Aviation Administration* (FAA) untuk material lapisan pondasi bawah. Data untuk perhitungan sebagai berikut :

Nilai MTOW pesawat rencana	: 187.700 lbs
Nilai equivalent annual departure	: 2.225 pesawat
Nilai CBR <i>subbase</i>	: 20%

Nilai-nilai tersebut di plot ke dalam kurva dapat desain tebal total perkerasan *taxiway* dan didapatkan 15 inci. Tebal lapisan pondasi bawah (*subbase*) sama dengan tebal perkerasan total dikurangi nilai plot kurva tersebut.

Tebal lapisan pondasi bawah = 34 inci – 15 inci = 19 inci (48,26 cm)

Perhitungan tebal lapis permukaan (*surface course*) perkerasan *taxiway*

Untuk *taxiway* digunakan tebal lapisan permukaan (*surface course*) termasuk di daerah nonkritis. Tebal perkerasan lapis permukaan (*surface course*) diuraikan pada Tabel 12.

Tabel 12. Tebal Perkerasan Lapis Permukaan (*Surface Course*) (FAA, 1995)

No	Daerah	Tebal	
		inci	Cm
1	Kritis	4	10,16
2	Nonkritis	3	7,62

Sehingga didapatkan tebal perkerasan lapis permukaan (*surface course*) nonkritis senilai 3 inci (7,62 cm).

Perhitungan tebal lapis pondasi atas (*base course*) perkerasan *taxiway*

Tebal lapisan pondasi atas (*base course*) ditentukan sebagai lapisan yang berada tepat di atas *subbase*, atau diperoleh dari selisih antara tebal lapisan hasil pemetaan grafik *subbase* dengan tebal lapisan permukaan (*surface*).

Tebal lapisan pondasi atas = 15 inci – 3 inci = 12 inci (30,48 cm).

Konfigurasi roda pesawat rencana *dual wheel* dan nilai MTOW 187.700 lbs, maka didapatkan tebal lapisan pondasi atas (*base course*) minimum senilai 8 inci (20,32 cm).

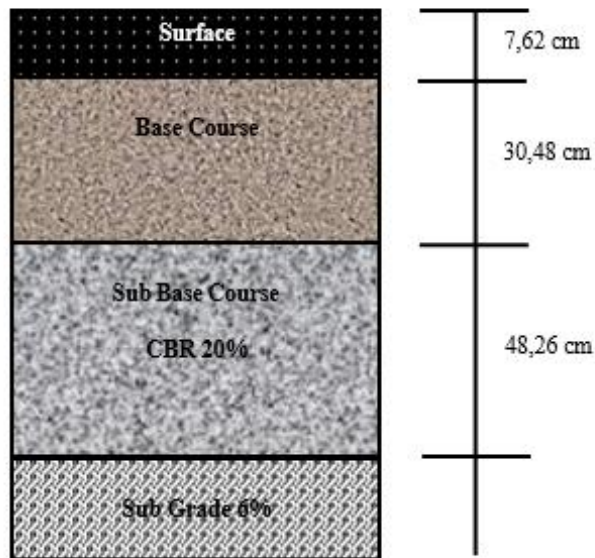
Tebal lapisan pondasi atas senilai 12 inci lebih besar dari syarat tebal minimum yaitu 8 inci, maka tebal tersebut memadai dan memenuhi syarat dari *Federal Aviation Administration* (FAA). Lapisan pondasi atas menggunakan material berupa Item P-209 – Lapis pondasi agregat pecah. Lapisan perkerasan *taxiway* diuraikan pada Tabel 13.

Tabel 13. Lapisan Perkerasan *Taxiway*

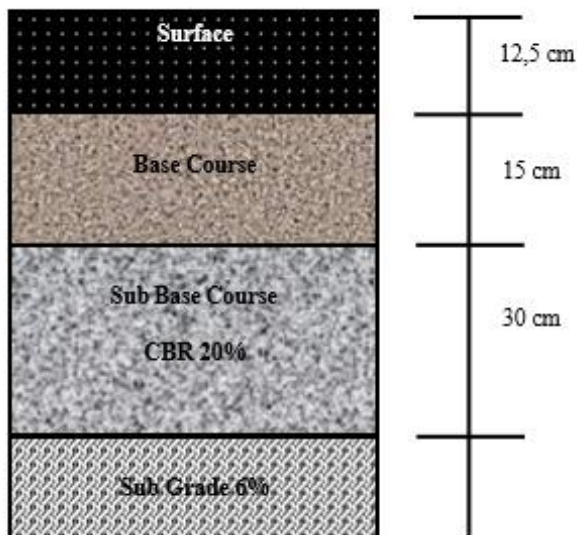
Lapisan Perkerasan	Tebal	
	Inci	Cm
Lapisan permukaan (<i>surface</i>)	3	7,62
Lapisan pondasi atas (<i>base</i>)	12	30,48
Lapisan pondasi bawah (<i>subbase</i>)	19	48,26
Total	34	86,36

Sehingga didapatkan tebal lapisan total landas hubung (*taxiway*) senilai 34 inci (86,36 cm) dengan kondisi tebal lapisan total *taxiway* eksisting senilai 57,5 cm. Gambar lapisan perkerasan lentur *taxiway* dan gambar lapisan perkerasan lentur

taxiway kondisi eksisting sebagaimana disajikan pada Gambar 1 dan Gambar 2



Gambar 1. Lapisan Perkerasan Lentur *Taxiway*



Gambar 2. Lapisan Perkerasan Lentur *Taxiway* Kondisi Eksisting

Perhitungan desain untuk ketebalan perkerasan lentur landas hubung yang menampung pesawat Boeing 737-900ER menunjukkan ketebalan kumulatif 34 inci (86,36 cm), terdiri dari lapisan permukaan 3 inci (7,62 cm), lapisan pondasi atas 12 inci (30,48 cm), dan lapisan pondasi bawah 19 inci (48,26 cm). Konstruksi saat ini memiliki ketebalan keseluruhan 57,5 cm, termasuk lapisan permukaan 12,5 cm, lapisan pondasi atas 15 cm, dan lapisan pondasi bawah 30 cm, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 14.

Tabel 14. Kondisi Eksisting dan Kondisi Dibutuhkan

	Kondisi Eksisting	Kondisi Dibutuhkan	Selisih
Tebal Total	57,5 cm	86,36 cm	28,86 cm

Sehingga didapatkan selisih tebal total *taxiway* senilai 28,86 cm karena tebal total eksistingnya yaitu 57,5 cm dan kondisi yang dibutuhkan yaitu 86,36 cm sehingga perlu dilakukan *overlay* untuk kekurangan tebalnya yaitu 28,86 cm.

Untuk perencanaan ketebalan *overlay* karena adanya penurunan kekuatan perkerasan, sehingga perlu dilakukan *overlay* yang tebalnya didapatkan dari selisih tebal total *taxiway* eksisting dengan tebal total *taxiway* yang dihitung yaitu mendapatkan selisih tebal total *taxiway* senilai 28,86 cm.

$$\begin{aligned}
 h_{OL} &= h_{\text{tidak}} - h_e \\
 &= 86,36 \text{ cm} - 57,5 \text{ cm} \\
 &= 28,86 \text{ cm} \\
 &= 29 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

dengan:

h_{OL} = tebal lapisan

h_{tidak} = tebal perkerasan baru

h_e = tebal efektif perkerasan eksisting

Sehingga didapatkan tebal total eksistingnya yaitu 57,5 cm kurang tebal daripada perencanaan untuk 20 tahun yang akan datang yaitu 86,36 cm maka perlu dilakukan pekerjaan lapis tambahan (*overlay*) untuk kekurangan tebalnya yaitu 28,86 cm atau dibulatkan 29 cm.

Nominal maximum size of aggregate (NMA). Ukuran agregat maksimum (M) didefinisikan sebagai filter terkecil yang memungkinkan 100% partikel sampel agregat untuk melewatinya. Ukuran agregat nominal maksimum (N) didefinisikan sebagai ukuran ayakan terbesar yang mampu menahan sebagian partikel agregat, seringkali tidak melebihi 10% (Roberts et al., 1996).

L_m - Tebal padat berdasarkan M.

L_n - Tebal padat berdasarkan N.

Dengan formula :

$L_m = (2,50 - 2,86) \times M$. (Nick Thom, 2014, Nottingham University UK)

$L_n = (3 - 4) \times N$. (USA : HRB, FAA, AI MS-17 dan 22)

a. Material *Asphalt Concrete Binder Course* (AC - BC) :

$M = 1''$ (25,4 mm).

$N = 3/4''$ (19 mm).

$L_m = (2,50 - 2,86) \times 25,4 \text{ mm} = 63,5 \text{ mm} - 72,6 \text{ mm}$.

Dibulatkan 6,5 cm - 7 cm.

$L_n = (3 - 4) \times 19 \text{ mm} = 57 \text{ mm} - 76 \text{ mm}$.

Dibulatkan 6 cm - 7,5 cm.

b. Material *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC - WC) :

$M = 3/4''$ (19 mm).

$N = 1/2''$ (12,7 mm).

$$L_m = (2,50 - 2,86) \times 19 \text{ mm} = 47,5 \text{ mm} - 54,3 \text{ mm}.$$

Dibulatkan 5 cm.

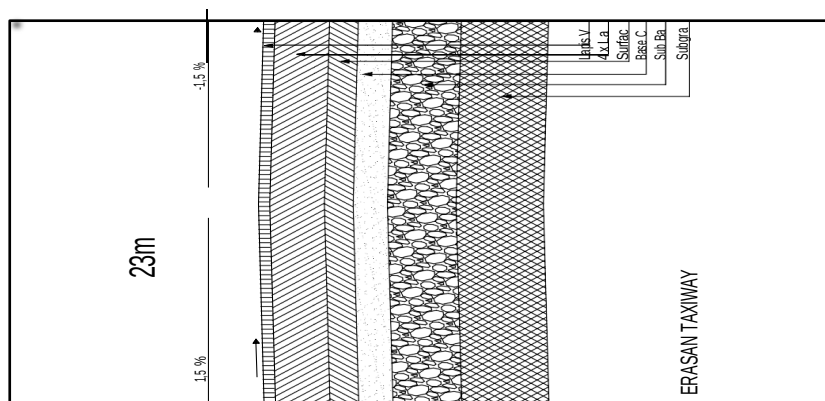
$$L_n = (3 - 4) \times 12,7 \text{ mm} = 38,1 \text{ mm} - 50,8 \text{ mm}.$$

Dibulatkan 4 cm - 5 cm.

Sehingga didapatkan tebal *overlay* menjadi 5 lapis perkerasan dengan total *overlay* senilai 29 cm dengan ketentuan sebagai berikut :

- a Lapis I (AC – BC) tebal lapisan senilai 6 cm;
- b Lapis II (AC – BC) tebal lapisan senilai 6 cm;
- c Lapis III (AC – BC) tebal lapisan senilai 6 cm;
- d Lapis IV (AC – BC) tebal lapisan senilai 6 cm;
- e Lapis V (AC – WC) tebal lapisan senilai 5 cm.

Pelaksanaan *overlay* sebaiknya dilaksanakan secepatnya agar saat terjadi peningkatan pada lalu lintas udara ditahun kedepannya, *taxiway* Bandar Udara Fatmawati Soekarno Kota Bengkulu telah mampu melayaninya. Sebelum dilakukan *overlay* perlu dilakukan perbaikan pada lapis permukaan eksisting agar lapis *overlay* dapat memiliki kinerja yang optimal. Detail perkerasan landas hubung *taxiway* setelah *overlay* sebagaimana disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Detail Perkerasan Landas Hubung (*Taxiway*) setelah Overlay Bandar Udara Fatmawati Kota Bengkulu

SIMPULAN

Berdasarkan tinjauan dari hasil analisis dan pembahasan mengenai pengembangan geometrik perkerasan lentur landas hubung (*taxiway*) di Bandar Udara Fatmawati Soekarno Kota Bengkulu, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Pengembangan perkerasan lentur landasan hubung (*taxiway*) yaitu jarak dari *threshold* sampai titik awal *exit taxiway* adalah 1318 m, lebar *taxiway* kondisi eksisting senilai *taxiway* a 23 m dan *taxiway* b 26 m dan didapatkan hasil senilai 18 m maka telah memenuhi standar dan aturan klasifikasi sehingga pengembangan tidak diperlukan, panjang *taxiway* kondisi eksisting senilai *taxiway* a 132,5 m *taxiway* b 130 m dan didapatkan hasil senilai *taxiway* a

95,945 m taxiway b 94,455 m maka telah memenuhi standar dan aturan klasifikasi sehingga pengembangan tidak diperlukan.

- 2) Analisa struktur perkerasan lentur landasan hubung (*taxiway*) yaitu tebal struktur perkerasan landasan hubung (*taxiway*) adalah tebal total senilai 34 inci (86,36 cm) dengan rincian tebal per lapisan yaitu tebal lapisan permukaan (*surface*) *taxiway* senilai 3 inci (7,62 cm), tebal lapisan pondasi atas (*base*) *taxiway* senilai 11 inci (27,94 cm), dan tebal lapisan pondasi bawah (*subbase*) *taxiway* senilai 20 inci (50,8 cm). Sehingga untuk perencanaan 20 tahun yang akan datang, kondisi eksisting tebal lapisan permukaan (*surface*) *taxiway* sudah memenuhi kriteria, akan tetapi untuk tebal lapisan pondasi atas (*base*) *taxiway* dan tebal lapisan pondasi bawah (*subbase*) *taxiway* sudah tidak memenuhi kriteria lagi. Sehingga didapatkan selisih tebal total *taxiway* senilai 28,86 cm karena tebal total eksistingnya yaitu 57,5 cm kurang tebal daripada perencanaan untuk 20 tahun yang akan datang yaitu 86,36 cm dan perlu dilakukan *overlay* untuk kekurangan tebalnya yaitu 28,86 cm atau dibulatkan 29 cm.

DAFTAR PUSTAKA

- Angkasa Pura. (2019). *Data Sekunder Bandara Fatmawati*. II, PT. Angkasa Pura.
- Boeing. (2020). Boeing 737 Airplane Characteristics for Airport Planning. *The Economic Journal*, 80(318), 307.
- FAA, 1995, *Airport Pavement Design and Evaluation, Advisory Circular 150/5320-6D, United State, Federal Airport Administration*.
- ICAO, 2013, *Aerodromes Annex 14 Volume I Aerodrome Design and Operations*, Sixth Edition, Canada.
- ICAO, 2016, *Annex 14-Aerodromes-Volume I Aerodrome Design and Operations Seventh Edition*, Montreal, *International Civil Aviation Organization*.
- Angkasa Pura. (2019). *Data Sekunder Bandara Fatmawati*. II, PT. Angkasa Pura.
- Khanna, S. K., Arora, M. G., Jain, S. S., & Traffic, A. (1999). *Airport Planning and Design 545 pages , Paperback 45 people want to read Follow Ratings & Reviews What do you think ? Rate this book Write a Review Friends & Following Create a free account to discover what your friends think of this book ! 0–1*.
- Nur Ulya, F., & Darma, Y. (2022). Kopelma Darussalam Banda Aceh 23111, Indonesia 2,3 Dosen, Jurusan Teknik Sipil. *Universitas Syiah Kuala Jalan Syech Abdurrauf*, 7. <https://doi.org/10.24815/journalces.v4i3.17579>
- Paramahamsa, K. L. M., & Sari, A. N. (2022). Studi Perencanaan Perkerasan Runway dan Taxiway dengan Metode Federal Aviation Administration. *Journal of Airport Engineering Technology (JAET)*, 2(2), 67–74. <https://doi.org/10.52989/jaet.v2i2.56>

- Perhubungan, K. (2019). Kementerian perhubungan tahun 2019. In *kementerian perhubungan* (Vol. 2019, Issue 8, pp. 1–50).
- Perhubungan, K. (2024). *Statistik Angkutan Udara Tahun 2024*.
- Rini, F. D. K., Herianto, H., & Hendra, H. (2020). Analisis Ulang Runway Bandar Udara Wiriadinata Menggunakan Metode Faa. *Akselerasi : Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 2(1). <https://doi.org/10.37058/aks.v2i1.2046>
- Silvia, S., Budi Suparma, L., Hapsoro Tri Utomo, S., Gadjah Mada, U., & Magister Sistem dan Teknik Transpotasi, D. (2021). Analisis Pengembangan Geometrik Runway Bandar Udara Fatmawati Soekarno Kota Bengkulu. *Journal of Civil Engineering and Planning*, 2(2). <https://doi.org/10.37253/jcep.v2i2.5201>
- Wulandari, A., Hapsoro, S., Utomo, T., Siswosukarto, S., & Analisis, W. (2022). *Evaluasi Tebal Perkerasan Kaku Apron Bandara Mutiara SIS Al-Jufri* Penelitian ini dimaksudkan bertujuan untuk mengevaluasi perkerasan kaku apron Bandara Mutiara Sis Al-Jufri Palu serta memperoleh hasil perhitungan konstruksi perkerasan apron yang direncana. 3(1). <https://doi.org/10.37253/jcep.v3i1.5816>