Jurnal Profesi Insinyur (JPI) e-ISSN 2722-5771
Vol 6 No 1 Juni 2025
Alamat Jurnal: http://jpi.eng.unila.ac.id/index.php/ojs

JURNAL PROFESI INSINYUR
PROGRAM STUDI PROGRAM PROFESI INSINYUR

Evaluasi Kesiapan Runway Bandar Udara Fatmawati dalam Rangka Transformasi Menjadi Bandara Internasional

Reni Karno Kinasih[a,*], Madjumsyah Hariadi[a], Muhammad Isradi[a]

[a] *Program Studi Profesi Insinyur, Universitas Mercu Buana, Jakarta Barat*

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat artikel:
Diterima : 8 April 2025
Diterbitkan : 24 Juni 2025

Kata kunci:
Bandara,
Landas pacu,
FAA,
FAARFIELD

ABSTRAK

Transformasi Bandar Udara Fatmawati Soekarno menjadi bandara internasional menuntut penyesuaian teknis terhadap ketebalan perkerasan landas pacu (runway) agar mampu melayani operasional pesawat berbadan besar seperti Boeing 767-300 dan Airbus A330-300. Kajian ini bertujuan untuk mengevaluasi ketebalan runway eksisting dan merancang ketebalan yang sesuai menggunakan dua pendekatan, yakni metode manual berdasarkan pedoman Federal Aviation Administration (FAA) dan *perangkat lunak* FAARFIELD. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa perkerasan eksisting dengan total tebal 120 cm cenderung overdesain. Perhitungan manual menghasilkan total tebal 96,52 cm, sedangkan FAARFIELD menunjukkan desain lebih efisien sebesar 73,41 cm. Pesawat Boeing 737-800 ditetapkan sebagai pesawat rencana (*design aircraft*) karena memiliki frekuensi keberangkatan tertinggi dan kontribusi kerusakan tertinggi terhadap struktur perkerasan, sementara Boeing 767-300 digunakan sebagai pesawat pengecekan (*check aircraft*). Selain ketebalan, analisis juga merekomendasikan perpanjangan runway dari 2.285 meter menjadi minimal 2.750 meter agar dapat memenuhi kebutuhan operasional pesawat berbadan lebar. Dengan hasil ini, dapat disimpulkan bahwa runway eksisting telah memenuhi standar kekuatan namun perlu penyesuaian panjang untuk mendukung transformasi menjadi bandara internasional secara penuh.

1. Pendahuluan

Bandar Udara Fatmawati Soekarno, yang terletak di Kota Bengkulu, memegang peran strategis sebagai pintu gerbang utama transportasi udara untuk wilayah Bengkulu dan sekitarnya. Saat ini, bandara ini hanya melayani penerbangan domestik dengan kapasitas pesawat berbadan sedang seperti Boeing 737-900ER. Namun, seiring meningkatnya jumlah penumpang hingga mencapai 607.539 orang pada tahun 2023—naik 11,86% dibandingkan tahun sebelumnya (Kementerian Perhubungan, 2024)—pengembangan fasilitas menjadi kebutuhan mendesak. Rencana transformasi bandara ini menjadi bandara internasional diharapkan dapat mendukung penerbangan luar negeri, termasuk keberangkatan jemaah haji, serta mendorong sektor pariwisata dan pertumbuhan ekonomi daerah (Sabania, 2024).

Salah satu aspek kritis dalam transformasi ini adalah peningkatan kapasitas landas pacu (*runway*). Ketebalan perkerasan runway saat ini sebesar 120 cm, terdiri dari 40 cm lapisan *surface course*, 40 cm *base course*, dan 40 cm *subbase course*. Ketebalan ini perlu dievaluasi ulang untuk memastikan kesesuaian dengan beban operasional pesawat berbadan lebar seperti Boeing 767-300 dan Airbus A330-300, yang direncanakan akan beroperasi setelah bandara berstatus internasional.

Kajian ini menggunakan metode perencanaan perkerasan dari Federal Aviation Administration (FAA), baik secara manual berdasarkan AC 150/5320-6C maupun dengan bantuan perangkat lunak FAARFIELD versi 2.1.1. Metode ini mempertimbangkan variabel penting seperti berat maksimum pesawat (MTOW), frekuensi keberangkatan tahunan (annual departure), umur layan, dan karakteristik tanah dasar (CBR). Penentuan pesawat rencana (*design aircraft*) dalam kajian ini dilakukan dengan mempertimbangkan dua parameter utama: nilai MTOW dan frekuensi keberangkatan. Dari kombinasi tersebut, pesawat Boeing 737-800 dipilih sebagai pesawat rencana karena memiliki MTOW yang cukup tinggi dan frekuensi keberangkatan tertinggi. Pemilihan ini kemudian dikonfirmasi dengan mengevaluasi kontribusinya terhadap Cumulative Damage Factor (SDF), di mana B737-800 terbukti memberikan kontribusi kerusakan paling dominan terhadap struktur perkerasan (CDF tertinggi) dibandingkan jenis pesawat lainnya. Sementara itu, Boeing 767-300 ditetapkan sebagai pesawat pengecekan (*check aircraft*) karena memiliki bobot besar meskipun frekuensinya rendah.

Hasil kajian menunjukkan bahwa ketebalan total struktur runway hasil perhitungan manual adalah 96,52 cm, sedangkan hasil dari FAARFIELD adalah 73,41 cm. Keduanya lebih tipis dibandingkan kondisi eksisting, yang menunjukkan bahwa struktur saat ini cenderung *overdesain*. Disamping itu, analisis teknis juga merekomendasikan perpanjangan *runway* menjadi minimal 2.750 meter untuk memenuhi kebutuhan operasional pesawat berbadan lebar pada konfigurasi beban penuh, sesuai standar ICAO dan dokumen pabrikan pesawat (Boeing, 2023; Airbus, 2023).

Dengan demikian, kajian ini tidak hanya menyediakan dasar teknis untuk penyesuaian struktur perkerasan landas pacu, tetapi juga menjadi komponen penting dalam strategi peningkatan konektivitas global Provinsi Bengkulu. Penguatan infrastruktur bandara berbasis data teknis dan prediksi kebutuhan masa depan diharapkan mampu mendukung mobilitas masyarakat, memperluas akses ekonomi, dan mendorong pertumbuhan sektor logistik dan pariwisata di wilayah ini.

Perencanaan Perkerasan Struktural

Perkerasan adalah struktur rekayasa yang terdiri dari beberapa lapisan dengan tingkat kekerasan dan daya dukung yang berbeda-beda. Terdapat dua jenis utama perkerasan, yaitu:

1. Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*). Dibuat dari campuran aspal dan agregat, perkerasan ini digelar di atas lapisan granular berkualitas tinggi. Struktur ini fleksibel karena lapisan-lapisan di bawahnya ikut mendistribusikan beban.
2. Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*). Dibuat dari slab beton (*Portland Cement Concrete*), perkerasan ini bersifat lebih kaku dan memiliki daya dukung yang lebih besar dibandingkan perkerasan lentur.

Fungsi Perkerasan

Perkerasan memiliki fungsi utama sebagai:

1. Tumpuan Pesawat: Memberikan permukaan yang rata sehingga pergerakan pesawat lebih nyaman dan aman.
2. Distribusi Beban: Memastikan beban dari roda pesawat disalurkan ke lapisan di bawahnya tanpa menyebabkan kerusakan (*distress*).
3. Ketahanan Repetisi Beban: Menahan pengaruh beban berulang tanpa deformasi yang signifikan.

Komponen Perkerasan Lentur

Perkerasan lentur terdiri dari lapisan-lapisan berikut:

1. *Surface Course*:
   - Terbuat dari campuran aspal dan agregat.
   - Berfungsi memberikan permukaan yang rata, menahan beban roda pesawat, serta membagi beban ke lapisan di bawahnya.
2. *Base Course*:
   - Dapat dibuat dari material alami atau material yang dicampur dengan aspal atau semen.
   - Harus mampu menahan beban pesawat dan meneruskan beban tersebut ke lapisan *subbase* atau *subgrade*.
3. *Subbase Course:*
   - Terbuat dari material alam atau material yang telah diperbaiki.
   - Berfungsi sebagai penopang beban dari lapisan *base course* dan distribusinya ke *subgrade*.
   - Tidak selalu digunakan, tetapi diperlukan jika kondisi perkerasan membutuhkan daya dukung tambahan.
4. *Subgrade*: Merupakan tanah asli yang telah dipadatkan sebagai dasar seluruh lapisan perkerasan.
   - Kualitas dan kekuatan *subgrade* memengaruhi ketebalan dan desain lapisan di atasnya.

Komponen Perkerasan Kaku

Perkerasan kaku terdiri dari:

1. Slab Beton:
   - Lapisan utama yang terbuat dari beton bertulang atau tanpa tulangan dengan ketebalan tertentu.
   - Diletakkan di atas lapisan granular atau material yang dicampur dengan semen atau aspal untuk mencegah efek pumping.
2. Lapisan Pendukung:
   - Dikenal sebagai *subbase*, lapisan ini tidak memerlukan kualitas material setinggi *base course* pada perkerasan lentur.

2. Metodologi

Metode Perencanaan Perkerasan Bandara

Terdapat beberapa metode perencanaan perkerasan yang digunakan secara internasional:

1. Metode CBR: Dikembangkan oleh US Corps of Engineers, berbasis pada nilai California Bearing Ratio.
2. Metode FAA: Menggunakan parameter teknis yang dikembangkan oleh Federal Aviation Administration.
3. Metode LCN: Dikembangkan di Inggris berdasarkan klasifikasi beban (Load Classification Number).
4. Metode Asphalt Institute: Menggunakan pendekatan khusus untuk desain perkerasan lentur.
5. Metode Canadian Department of Transportation: Fokus pada kondisi geografis dan iklim di Kanada.

Pada penelitian ini, metode yang digunakan adalah Metode FAA secara manual dan menggunakan perangkat lunak FAARFIELD, sehingga pembahasan selanjutnya fokus pada ke dua metode ini. Metode Federal Aviation Administration (FAA) adalah salah satu pendekatan yang banyak digunakan untuk merancang tebal perkerasan pada landasan pacu (*runway*) bandara. Metode ini mempertimbangkan beban pesawat, frekuensi penggunaan runway, dan karakteristik tanah di lokasi sebagai variabel utama dalam proses perhitungan. FAA memberikan pedoman rinci dalam dokumen Advisory Circular Nomor 150/5320-6C yang mencakup prosedur desain perkerasan untuk mendukung operasi pesawat berbadan besar.

Metode FAA mengandalkan data empiris dan analisis mekanistik untuk menentukan ketebalan perkerasan yang diperlukan berdasarkan karakteristik pesawat yang akan digunakan, termasuk berat dan tipe pesawat. Penelitian oleh Hutama et al. menunjukkan bahwa dalam pembangunan perpanjangan landasan pacu di Bandar Udara Abdulrachman Saleh, metode FAA dibandingkan dengan metode CBR (California Bearing Ratio) untuk mendapatkan hasil perencanaan yang lebih akurat dan efisien (Hutama et al., 2021). Dalam penelitian lain, Triliyah dan Koespiadi melaporkan bahwa perhitungan menggunakan metode FAA menghasilkan dimensi perkerasan lentur yang sesuai untuk pesawat Boeing 747-400 ER, dengan total ketebalan perkerasan mencapai 99 cm (Triliyah & Koespiadi, 2019). Hal ini menunjukkan bahwa metode FAA dapat memberikan hasil yang lebih komprehensif dalam merencanakan ketebalan perkerasan.

Metode FAA berfokus pada analisis mekanistik dan data empiris, sehingga dapat memberikan hasil yang lebih akurat dalam konteks perencanaan jangka panjang. Jika dibandingkan, misalnya, dengan metode LCN yang lebih sederhana dan langsung, tetapi mungkin tidak mempertimbangkan semua variabel yang dapat mempengaruhi ketahanan perkerasan.

Penelitian oleh Anis menunjukkan bahwa perbandingan antara metode empiris dan mekanistik dalam perancangan landasan menunjukkan bahwa metode FAA memberikan hasil yang lebih baik dalam hal ketebalan perkerasan (Anis, 2016). Ini menunjukkan bahwa meskipun metode LCN memiliki aplikasinya sendiri, metode FAA mungkin lebih unggul dalam konteks perencanaan yang lebih kompleks. Dalam praktiknya, kombinasi antara kedua metode ini dapat digunakan untuk mendapatkan hasil yang optimal. Misalnya, dengan menggunakan metode FAA untuk menentukan ketebalan awal perkerasan berdasarkan karakteristik pesawat, kemudian menggunakan metode LCN untuk mengkonfirmasi bahwa perkerasan tersebut dapat menahan beban yang direncanakan.

Penelitian oleh Octavia et al. menunjukkan bahwa penggunaan metode FAA secara manual dan dengan perangkat lunak FAARFIELD dapat memberikan hasil yang lebih baik dalam mengevaluasi ketebalan perkerasan *runway* (Octavia et al., 2021). Ini menunjukkan bahwa teknologi modern dapat meningkatkan akurasi perhitungan yang dilakukan dengan metode tradisional. Selanjutnya, penting untuk mempertimbangkan faktor-faktor lain yang dapat mempengaruhi ketebalan perkerasan, seperti kondisi tanah dasar dan lingkungan. Penelitian oleh Efendi menunjukkan bahwa evaluasi ketebalan perkerasan di Yogyakarta International Airport mempertimbangkan kondisi eksisting dan kemampuan perkerasan untuk melayani pergerakan pesawat (Efendi, 2019). Hal ini menunjukkan bahwa analisis yang komprehensif dan mempertimbangkan berbagai faktor eksternal sangat penting dalam perencanaan perkerasan landas pacu.

Dalam konteks perencanaan yang lebih luas, penggunaan perangkat lunak seperti FAARFIELD dan COMFAA dapat membantu dalam analisis dan perhitungan yang lebih kompleks. Penelitian oleh Prayuda et al. menunjukkan bahwa penggunaan perangkat lunak ini dapat meningkatkan efisiensi dan akurasi dalam perencanaan perkerasan runway (Prayuda et al., 2023). Dengan demikian, integrasi teknologi dalam metode FAA dan LCN dapat memberikan hasil yang lebih baik dan lebih dapat diandalkan. Dalam kesimpulannya, baik metode FAA maupun LCN memiliki peran penting dalam perencanaan tebal perkerasan landas pacu. Metode FAA menawarkan pendekatan yang lebih mendalam dan analitis, sementara LCN memberikan cara yang lebih sederhana untuk mengevaluasi beban. Kombinasi dari kedua metode ini, ditambah dengan penggunaan teknologi modern seperti perangkat lunak, dapat menghasilkan perencanaan yang lebih efisien dan efektif.

Tahapan Perhitungan Metode FAA

1. Menentukan Beban Pesawat Maksimum (*Maximum Take-Off Weight*/MTOW). Beban pesawat yang paling berat, termasuk muatan dan bahan bakar, ditentukan berdasarkan jenis pesawat rencana yang akan beroperasi di bandara. Untuk Bandara Fatmawati Soekarno, pesawat terbesar yang direncanakan adalah Boeing 767-300 dan Airbus A330-300.
2. Menentukan Frekuensi Pesawat
3. Frekuensi operasi pesawat selama masa umur perkerasan runway dihitung dalam bentuk annual departure. Informasi ini mencakup jumlah pergerakan tahunan setiap jenis pesawat yang melewati *runway*.
   Untuk menghitung Annual Departure equivalent dari pesawat rencana, digunakan formula (1), sementara untuk pesawat-pesawat Campuran yang dinyatakan dalam pesawat rencana (R2) digunakan formula (2).

$$Log\ R1 = Log\ R2 \times \left(\frac{W2}{W1}\right)^{1/2} \dots\dots\dots\dots\dots\dots (1)$$

$$R2 = annual\ departure\ pesawat\ campuran \times faktor\ konversi \dots\dots\dots (2)$$

Adapun factor konversi merujuk pada FAA dapat dilihat pada table 1.

Tabel 1. Faktor Pengali Konversi Roda Pesawat

Konversi dari	ke	Faktor Pengali
Single Wheel	Dual Wheel	0,8
Single Wheel	Dual Tandem	0,5
Dual Wheel	Dual Tandem	0,6
Double Dual Tandem	Dual Tandem	1,00
Dual Tandem	Single Wheel	2,00
Dual Tandem	Dual Wheel	1,70
Dual Wheel	Single Wheel	1,30
Double Dual Tandem	Dual Wheel	1,70

Sumber: FAA

4. Menghitung *Equivalent Single Wheel Load* (ESWL). ESWL adalah konversi dari beban roda pesawat asli menjadi beban roda tunggal yang setara. Nilai ini berguna untuk mengukur dampak tekanan roda pesawat terhadap perkerasan *runway*. Untuk menghitung beban per roda dari pesawat rencana (W1) menggunakan formula (3), dan untuk pesawat campuran (W2) menggunakan formula (4).

$$W1 = P \times MTOW \times \frac{1}{n} \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (3)$$

$$W2 = P \times MTOW \times \frac{1}{n} \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (4)$$

5. Mempertimbangkan Kondisi Tanah (*Subgrade Support*). Tanah dasar (*subgrade*) memiliki peran penting dalam menopang beban di atas perkerasan. Karakteristik tanah diukur menggunakan nilai California Bearing Ratio (CBR) atau modulus reaksi tanah (k-value), yang mempengaruhi ketebalan lapisan perkerasan yang diperlukan.
6. Penggunaan Grafik atau Tabel FAA. Setelah data beban pesawat, ESWL, dan kondisi subgrade diperoleh, perhitungan ketebalan dilakukan dengan merujuk pada grafik atau tabel desain FAA. Grafik ini menghubungkan beban roda pesawat, jumlah pergerakan tahunan, dan daya dukung tanah untuk menentukan ketebalan lapisan perkerasan yang diperlukan.
7. Perhitungan Ketebalan Lapisan Perkerasan. Berdasarkan hasil analisis, ketebalan setiap lapisan (*surface course, base course, dan subbase course*) ditentukan. Lapisan ini harus mampu menahan beban dinamis dan statis pesawat selama masa layanan yang direncanakan.

Keunggulan Metode FAA

1. Komprehensif: Mempertimbangkan berbagai variabel penting seperti beban pesawat, frekuensi operasi, dan karakteristik tanah.
2. Standar Internasional: Banyak digunakan oleh bandara di seluruh dunia, sehingga desain memenuhi standar global.
3. Fleksibel: Dapat diterapkan untuk berbagai tipe pesawat, dari pesawat kecil hingga berbadan besar.

3. Hasil dan pembahasan

Data Perkerasan Runway Existing

Tabel 2. Data Perkerasan Runway Existing

Item	Ukuran
Runway	2.250 m × 45 m
Luas Runway	101.250 m²
Tebal Runway (Surface Course)	40 cm
Tebal Runway (Base Course)	40 cm
Tebal Runway (Subbase Course)	40 cm
Subgrade	CBR 6%

Sumber: Bandara Fatmawati Soekarno

Data dan Karakteristik Pesawat

Data pesawat yang saat ini beroperasi pada Bandar Udara Fatmawati Soekarno adalah data sekunder yang diperoleh dari pihak bandara, yakni: Cessna 208 Grand Caravan, Airbus A320, Boeing 737-800, Boeing 737-900ER. Setelah bertransformasi menjadi bandar udara internasional, di Bandar Udara Fatmawati akan beroperasi 2 (dua) jenis pesawat untuk penerbangan jarak jauh yakni: Boeing 767-300 dan Airbus A330-30. Selain data jenis pesawat yang beroperasi, juga diperlukan data annual departure dari tiap pesawat. Sementara itu, karakteristik pesawat yang diperlukan untuk pengolahan data juga merupakan data sekunder yang diperoleh dari *manual book* tiap pesawat, data yang dibutuhkan adalah:

a. Konfigurasi sumbu roda utama pendaratan
b. Jumlah roda pendaratan utama (main gear)
c. Maximum Take Off Weight (MTOW)

Tabel 2 menunjukkan data karakteristik pesawat eksisting dan yang akan beroperasi setelah bertransformasi menjadi bandara internasional.

Tabel 3. Pesawat Eksisting dan Tambahan Setelah Bandara Bertransformasi

No.	Nama	Gross Wt. (lbs)	Annual Departure
1	A320-200 opt	172.850	4.745
2	B737-800	174.700	13.870
3	B737-900 ER	188.200	730
4	B767-300*	361.000	12
5	A330-300 WV022*	515.650	1
6	Cessna 208B Grand Caravan EX	8.750	730
7	ATR 42-500	41.381	1.200

Sumber: Bandara Fatmawati Soekarno

Sementara itu, untuk mengetahui penggunaan Boeing 767-300 dan Airbus A330-30 yang pada tahap awal transformasi menjadi bandara internasional hanya akan digunakan untuk keberangkatan haji Provinsi Bengkulu, maka perlu diketahui proyeksi pertumbuhan Jemaah haji yang akan diberangkatkan. Berdasarkan data dari Badan Statistik Provinsi Bengkulu, pada tabel 3 dapat dilihat data jamah haji yang diberangkatkan dari berbagai Kabupaten/Kota di Provinsi Bengkulu.

Tabel 4. Data Jamaah Haji Provinsi Bengkulu

Kabupaten/Kota	Data BPS						
	2017	**2018**	**2019**	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**
Bengkulu Selatan	131	129	154	-	-	61	145
Rejang Lebong	235	233	275	-	-	106	251
Bengkulu Utara	200	201	239	-	-	92	207
Kaur	107	105	126	-	-	48	109
Seluma	171	171	198	-	-	77	169
Mukomuko	176	172	204	-	-	79	200
Lebong	92	93	109	-	-	43	101
Kepahiang	109	108	127	-	-	49	129
Bengkulu Tengah	92	91	103	-	-	42	111
Kota Bengkulu	316	319	383	-	-	145	344
Bengkulu	1.629	1.622	1.918	-	-	742	1766
Total	**3258**	**3244**	**3836**	-	-	**1484**	**3532**
Rerata	**3446**					**2508**	

Sumber: BPS Provinsi Bengkulu

Untuk keperluan perhitungan lebih lanjut, digunakan angka rerata 3446 orang jemaah haji yang akan diberangkatkan. Tabel 4 menunjukkan persentase pertumbuhan jumlah jemaah haji dari tahun ke tahun berdasarkan data yang ada.

Tabel 5. Pertumbuhan Jumlah Jamaah Haji Provinsi Bengkulu

Kabupaten/Kota	2017-2018 (%)	2018-2019 (%)	2019-2022 (%)	2022-2023 (%)
Bengkulu Selatan	-1,53	19,38	-60,39	137,7
Rejang Lebong	-0,85	18,03	-61,45	136,79
Bengkulu Utara	0,5	18,91	-61,51	125
Kaur	-1,87	20	-61,9	127,08
Seluma	0	15,79	-61,11	119,48
Mukomuko	-2,27	18,6	-61,27	153,16
Lebong	1,09	17,2	-60,55	134,88
Kepahiang	-0,92	17,59	-61,42	163,27
Bengkulu Tengah	-1,09	13,19	-59,22	164,29
Kota Bengkulu	0,95	20,06	-62,14	137,24
Bengkulu (Provinsi)	-0,43	18,25	-61,31	138,01
Total	**-0,43**	**18,25**	**-61,31**	**138,01**
Rerata		**8,91**		

Sumber: olah data

Angka rerata pertumbuhan haji sebelum pandemik akan menjadi salah satu data inputan pada perangkat lunak FAARFIELD sebagai acuan pertumbuhan pesawat yang digunakan untuk memberangkatkan jamaah haji.

Kebutuhan Penerbangan Jamaah Haji

Untuk menyusun jumlah pesawat yang dibutuhkan dan jadwal penerbangannya, diperlukan beberapa data tambahan, yakni:

1. Kapasitas Pesawat:
   - Boeing 767-300: Kapasitas rata-rata untuk penerbangan jarak jauh adalah 269 penumpang.
   - Airbus A330-300: Kapasitas rata-rata adalah 277 penumpang.
2. Jumlah Total Penumpang Haji: 3446 orang.

Untuk mengangkut 3446 penumpang, skenario 1 adalah:

- 12 penerbangan dengan Boeing 767-300, dan
- 1 penerbangan dengan Airbus A330-300
- Total kapasitas 3505 penumpang (kelebihan kursi 59 untuk mengakomodasi margin).

Jika penerbangan berlangsung selama 8–10 jam dengan waktu turn-around 2–3 jam, setiap pesawat dapat melakukan 1 penerbangan per hari. Maka, diperlukan waktu 13 hari untuk menyelesaikan seluruh pengangkutan

Skenario 2 adalah:

- 11 penerbangan dengan Boeing 767-300, dan
- 2 penerbangan dengan Airbus A330-300
- Total kapasitas 3513 penumpang (kelebihan kursi 67 untuk mengakomodasi margin).

Penentuan Pesawat Rencana untuk Desain Tebal Perkerasan

Untuk menentukan pesawat rencana (*design aircraft*) dalam perencanaan ketebalan perkerasan landasan pacu (*runway pavement thickness*), biasanya digunakan metode FAA (Federal Aviation Administration) yang mempertimbangkan dua faktor utama:

1. Bobot maksimum (*gross weight*) pesawat, karena mempengaruhi beban roda ke perkerasan.
2. Frekuensi tahunan (*annual departure*), karena frekuensi tinggi bisa mempercepat kerusakan perkerasan.

Berikut ini pendekatan untuk menentukan pesawat rencana:

1. Eliminasi Pesawat Non-Kritis

Pesawat dengan bobot kecil walau frekuensinya tinggi (seperti Cessna 208B atau ATR 42-500) tidak menjadi pesawat rencana karena bebannya kecil dan tidak kritis terhadap tebal perkerasan.

2. Identifikasi Pesawat Berat

Pesawat paling berat dalam tabel:

- A330-300 WV022 dengan berat 515.650 lbs (tetapi hanya 1 keberangkatan/tahun)
- B767-300 dengan berat 361.000 lbs (12 keberangkatan/tahun)

Keduanya termasuk pesawat berat, namun frekuensinya sangat rendah, sehingga tidak efektif dijadikan pesawat rencana.

3. Kandidat Pesawat Rencana

Pesawat-pesawat yang patut dipertimbangkan karena kombinasi berat dan frekuensi tinggi dapat dilihat pada tabel 6, terdiri dari 3 pesawat yakni B 737-800, A320-200 opt dan B 737-900 ER.

Tabel 6. Kandidat pesawat rencana

Nama	Gross Wt. (lbs)	Annual Departure
B737-800	**174.700**	**13.870**
A320-200 opt	172.850	4.745
B737-900 ER	188.200	730

B737-800 paling banyak melakukan keberangkatan (13.870), dan memiliki berat cukup tinggi, maka ini adalah pesawat rencana (*design aircraft*).

Dengan data ini, maka proses perhitungan tebal perkerasan dapat dilanjutkan kembali yakni dengan skenario 1. Tabel 8

menunjukkan rekapitulasi proses perhitungan secara manual sampai mendapatkan nilai total R1 yakni sebesar 19403.

Selanjutnya, dilakukan *plotting* di kurva rencana perkerasan untuk daerah kritis untuk pesawat rencana yang memiliki konfigurasi roda pendaratan utamanya adalah Dual Wheel), dengan data: Nilai CBR untuk subgrade = 6%; Berat kotor pesawat rencana = 174700 lbs; *Annual departure* = 21183.

Diperoleh ketebalan total = 38 in (lihat tarikan garis berwarna merah pada gambar 1), dengan detail:

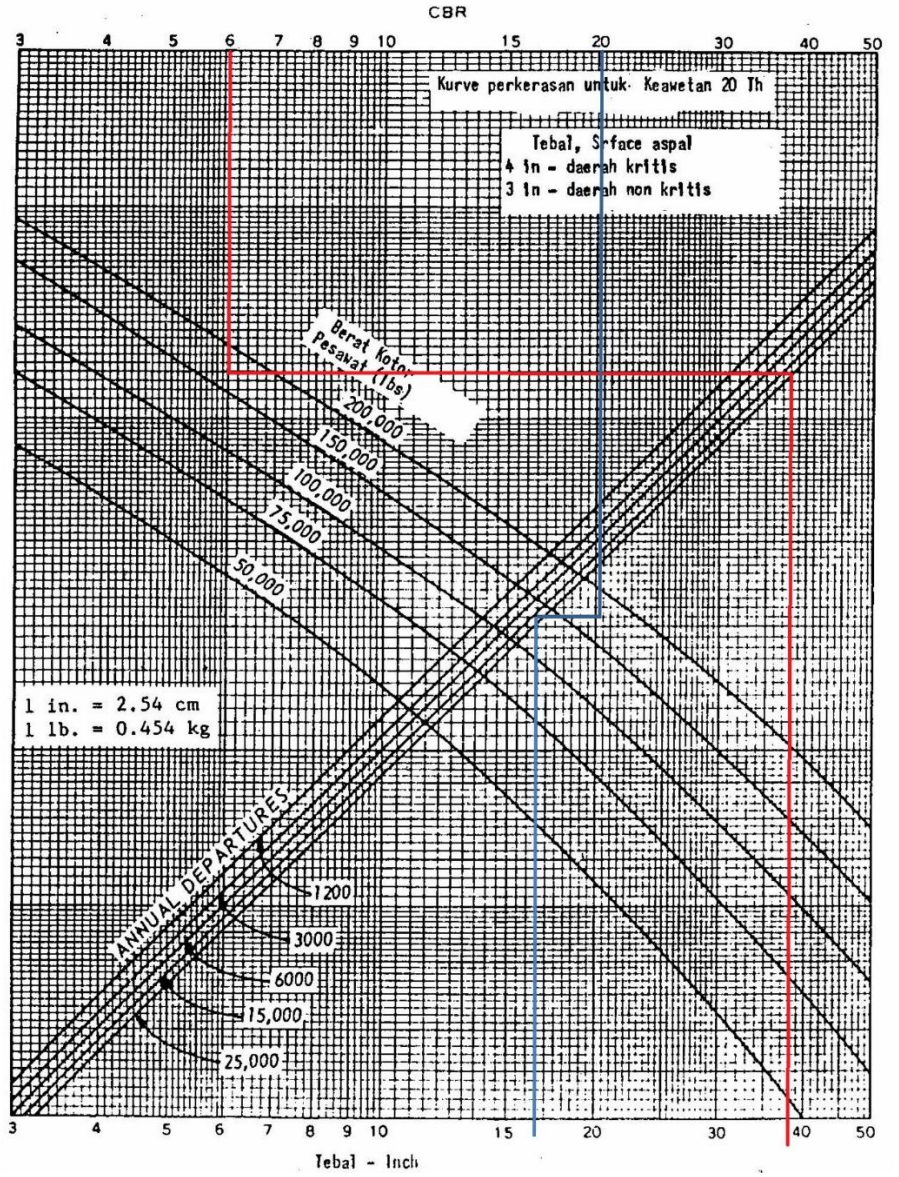
a) Dengan grafik yang sama, namun CBR = 20, diperoleh ketebalnya adalah sebesar = 16 in, ini adalah ketebalan surface dan base coarse (lihat tarikan garis berwana biru)
b) Tebal sub base menjadi: 38 in – 16 in = 22 in
c) Tebal Surface: Tebal surface adalah 4 in untuk daerah kritis
d) Tebal base coarse = a) – c) = 16 in – 4 in = 12 in

Langkah terakhir yang harus dilakukan adalah cek tebal minimum base coarse dengan grafik di gambar 2. Bahwa tebal base coarse minimum = 12 in, artinya memenuhi syarat.

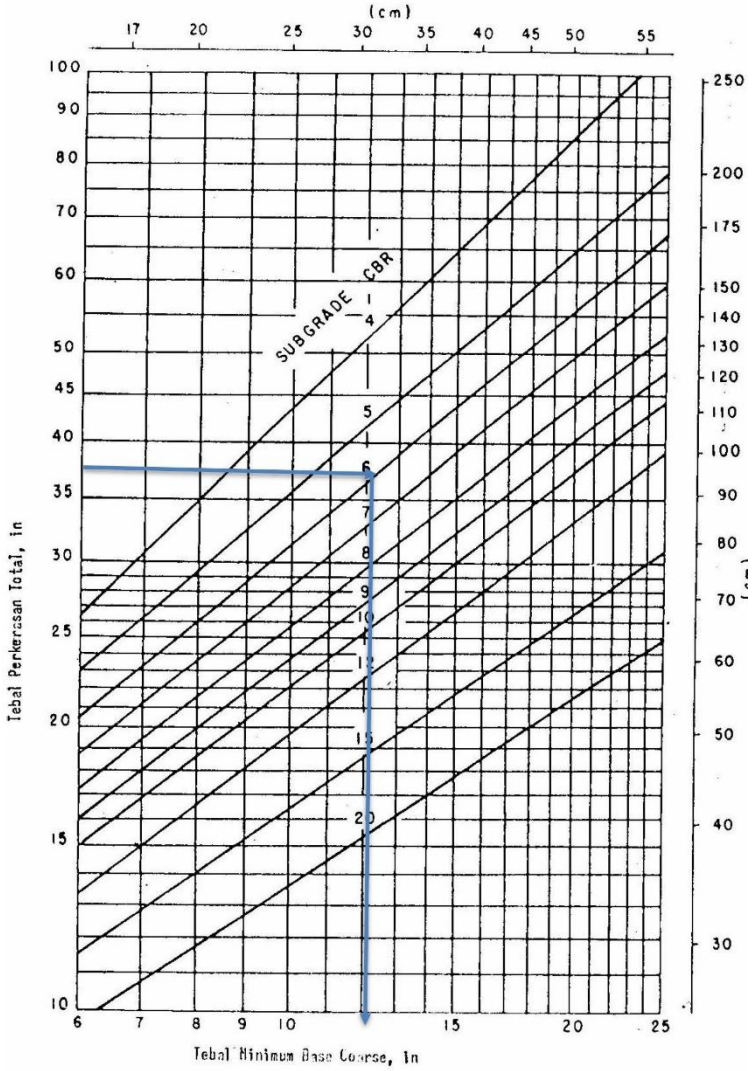
Tabel 7. Rekapitulasi perhitungan tebal perkerasan secara manual

Lapisan	In	Cm
Surface coarse (aspal)	4	10,16
Base coarse	12	30,48
Subbase coarse	22	55,88
Total	**38**	**96,52**

Sumber: olah data



Gambar 1. Kurva Rencana Perkerasan Flexible untuk Pesawat Dual Wheel



Gambar 2. Tebal Minimum Base Course yang Diijinkan

Tabel 8. Perhitungan Secara Manual Metode FAA

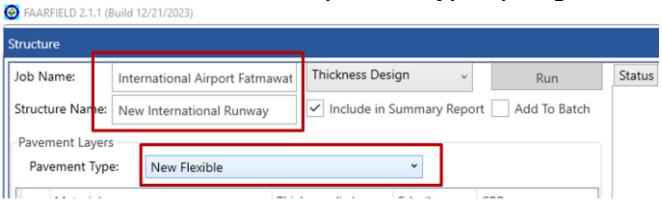
Tipe Pesawat	Faktor Konversi Roda Pendaratan	MTOW (lbs)	Annual Departure	R2	W2	W1	Log R2	Log R1	R1
Cessna 208 Grand Caravan	0.80	8750	730	584	4156	41491	3	1	8
Airbus A320	1.00	172850	4745	4745	41052	41491	4	4	4536
Boeing 737-800	1.00	174700	13870	13870	41491	41491	4	4	13870
Boeing 737-900ER	1.00	188200	730	730	44698	41491	3	3	937
ATR 42/72	1.00	41381	1095	1095	9828	41491	3	1	30
Boeing 767-300	1.56	361000	12	19	42869	41491	1	1	20

Tipe Pesawat	Faktor Konversi Roda Pendaratan	MTOW (lbs)	Annual Departure	R2	W2	W1	Log R2	Log R1	R1
Airbus A330-300	1.56	515650	1	2	61233	41491	0	0	2
Total			**21183**	**21044**					**19403**

Sumber: olah data

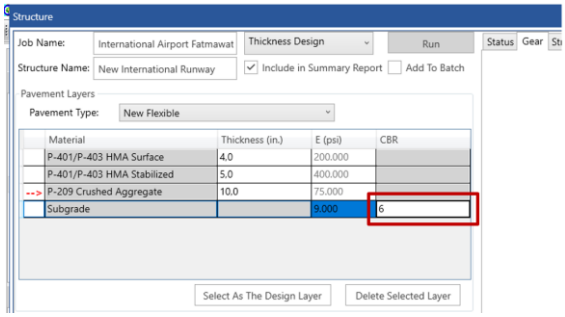
Menggunakan Perangkat lunak FAARFIELD
Pada kajian ini juga digunakan perangkat lunak FAARFIELD Versi 2.1.1 untuk mendapatkan tebal perkerasan yang ideal.

Tahap 1: Masukkan identitas
Job Name, Structure Name dan pavement type seperti gambar 5



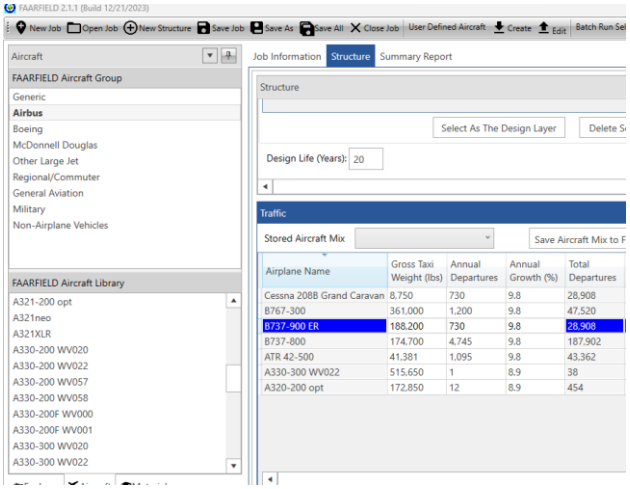
Gambar 3. Proses memasukkan identitas proyek di perangkat lunak FAARFIELD

Setelah itu scroll ke bawah lalu input CBR Subgrade sebesar 6% sesuai data sekunder yang diperoleh dari pihak bandara.



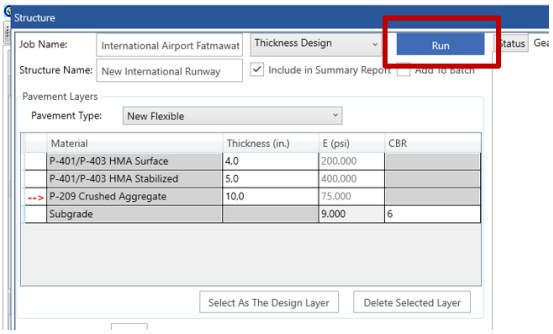
Gambar 4. Proses memasukkan nilai CBR subgrade

Tahap 2: Memasukkan data pesawat yang beroperasi, MTOW, annual departure dan pertumbuhan tahunan rerata pesawat. Pertumbuhan pesawat eksisting adalah 9,8% dan pesawat yang digunakan untuk keperluan jamaan haji berdasarkan kajian pada penelitian ini adalah 8,9%.



Gambar 5. Proses memasukkan pertumbuhan pesawat per tahun

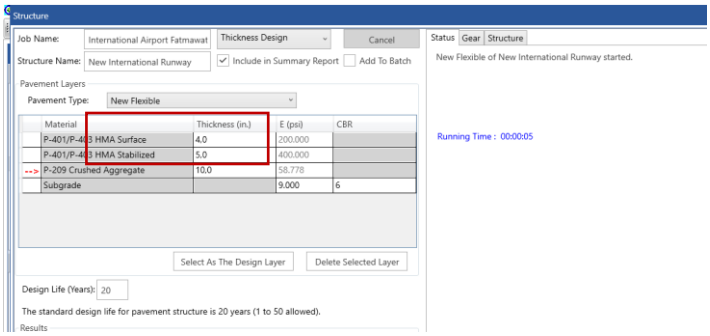
Tahap 3: Kembali ke tab structure lalu klik tombol *run*



Gambar 6. Klik tombol run setelah input data

Perangkat lunak FAARFIELD akan melaksanakan proses perhitungan, tandanya adalah running time berjalan dengan warna merah, tunggu sampai proses running selesai

.



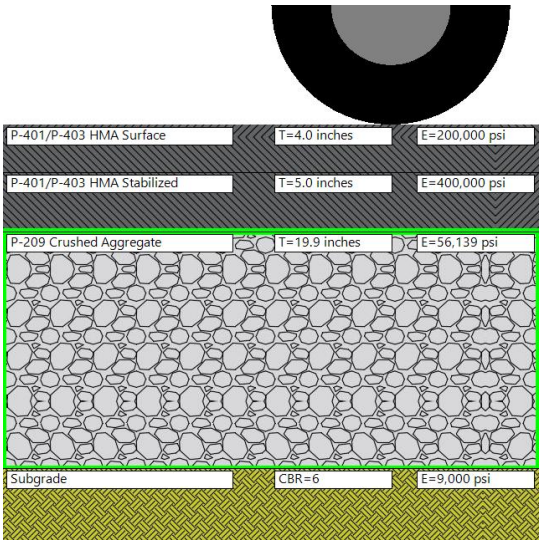
Gambar 7. Tanda proses running selesai

Output yang diperoleh adalah total ketebalan 29,2 inchi dengan rincian seperti yang ditampilkan pada tabel 9.

Tabel 9. Informasi Tiap Lapis Struktur Perkerasan

No.	Tipe	Setara Material di Indonesia	Ketebalan (in.)	Modulus (psi)	Poisson's Ratio
1	P-401/P-403 HMA Surface	AC-WC/ AC-BC	4	200,000	0.35
2	P-401/P-403 HMA Stabilized	ATB (Asphalt Treated Base)	5	400,000	0.35
3	P-209 Crushed Aggregate	Lapis Pondasi Kelas A	19.9	56,139	0.35
4	Subgrade	Tanah dasar	0	9,000	0.35

Sumber: output FAARFIELD



Gambar 8. Tebal perkerasan, material dan modulus elastisitasnya

Informasi tambahan output dari perangkat lunak FAARFIELD adaalah nilai CDF (*Cumulatife Damage Factor*) seperti yang ditunjukkan pada tablel 10. Informasi yang disajikan diantaranya adalah:

- *CDF Contribution* adalah kontribusi faktor kerusakan kumulatif untuk jenis pesawat tertentu pada lapisan subgrade perkerasan. Nilai ini dihitung berdasarkan beban roda pesawat, frekuensi keberangkatan, dan kekuatan struktur perkerasan. Angka *CDF Contribution* menunjukkan seberapa besar kerusakan yang diakibatkan oleh pesawat tertentu relatif terhadap total beban lalu lintas.
- CDF *Max for Airplane* adalah nilai maksimum faktor kerusakan kumulatif yang dapat diberikan oleh pesawat tersebut. Biasanya, nilai ini dipengaruhi oleh desain perkerasan dan distribusi beban roda pesawat.
- P/C Ratio (*Pass-to-Coverage Ratio*) adalah rasio antara jumlah lintasan pesawat yang benar-benar menyebabkan kerusakan pada perkerasan (*Passes*) terhadap cakupan distribusi tekanan roda pesawat (*Coverage*). Nilai ini menggambarkan seberapa efisien tekanan roda pesawat didistribusikan pada perkerasan. Semakin besar nilainya, semakin kecil area cakupan beban, sehingga berpotensi menyebabkan lebih banyak kerusakan.

Tabel 10. Kontribusi Kerusakan Kumulatif (CDF) Pesawat pada Berbagai Lapisan Perkerasan Bandara

Airplane Name	Subgrade			HMA			P-401/P-403 HMA Stabilized		
	CDF Contributions	CDF Max for Airplane	P/C Ratio	CDF Contributions	CDF Max for Airplane	P/C Ratio	CDF Contributions	CDF Max for Airplane	P/C Ratio
Cessna 208B Grand Caravan	0.00	0.00	2.27	0.00	0.00	7.22	0.00	0.00	4.94
B767-300	0.22	0.48	1.25	0.00	0.00	2.79	0.00	0.00	2.15
B737-900 ER	0.38	0.42	1.28	0.00	0.00	2.70	0.14	0.15	2.09

Airplane Name	Subgrade			HMA			P-401/P-403 HMA Stabilized		
	CDF Contributions	CDF Max for Airplane	P/C Ratio	CDF Contributions	CDF Max for Airplane	P/C Ratio	CDF Contributions	CDF Max for Airplane	P/C Ratio
B737-800	0.40	0.44	1.28	0.00	0.00	2.70	0.03	0.03	2.09
ATR 42-500	0.00	0.00	1.65	0.00	0.00	3.28	0.00	0.00	2.49
A330-300 WV022	0.01	0.01	1.33	0.00	0.00	1.50	0.01	0.05	1.16
A320-200 opt	0.00	0.00	1.25	0.00	0.00	1.50	0.00	0.00	1.19

Sumber: output FAARFIELD

Berdasarkan tabel 10, hal-hal yang perlu diperhatikan adalah:

1. Kontribusi kerusakan kumulatif (*Cumulative Damage Factor*) dari setiap pesawat terhadap total kerusakan perkerasan selama umur rencana, semakin tinggi nilainya, semakin besar pengaruh pesawat tersebut terhadap keausan landasan pacu. Pesawat B737-800 memberikan kontribusi CDF terbesar (0,40) dan menyumbang kerusakan paling signifikan pada subgrade dibanding pesawat lainnya. Ini menunjukkan bahwa pesawat ini memiliki dampak besar pada desain perkerasan, maka tidak salah jika B 737-800 menjadi pesawat rencana.
2. Pesawat yang memiliki kontribusi CDF sangat kecil (0,00 atau 0,01), artinya dampaknya terhadap kerusakan subgrade sangat minimal atau hampir tidak ada.
3. CDF Max for Airplane adalah nilai maksimum kontribusi kerusakan yang ditimbulkan oleh satu pesawat selama umur desain. Ini membantu mengidentifikasi pesawat rencana (design aircraft).
4. Pressure-to-Contact Area Ratio (rasio antara tekanan ban dan luas kontak ban ke perkerasan). Semakin kecil nilainya, tekanan lebih merata, sehingga lebih baik untuk perkerasan. P/C Ratio tertinggi adalah pada Cessna 208B Grand Caravan EX (2,27), yang menunjukkan distribusi tekanan roda lebih kecil, sehingga potensi kerusakannya lebih tinggi meskipun kontribusi CDF-nya rendah.
5. Pesawat dengan nilai P/C Ratio di kisaran 1,2 - 1,6 memiliki distribusi tekanan roda yang lebih efisien.

Tabel 11. Perbandingan Tebal Perkerasan Eksisting, Perhitungan Manual dan Perangkat lunak FAARFIELD

	Manual Metode FAA		Perangkat lunak Faarfield	
Lapisan	**In**	**Cm**	**In**	**Cm**
Lapisan permukaan aspal: (P-401/P-403 HMA Surface)	4	10.16	4	10.16
Base coarse: Lapisan antara aspal stabil (P-401/P-403 HMA Stabilized)	12	30.48	5	12.7
Subbase coarse: Lapisan agregat (P-209 Crushed Aggregate Base)	22	55.88	19.9	50.546
Total	**38**	**96.52**	**28.9**	**73.406**

Sumber: hasil olah data

Ketebalan lapisan permukaan yang dihasilkan oleh kedua metode sama, yaitu 4 inci atau 10,16 cm. Namun, terdapat perbedaan signifikan pada lapisan bawahnya. Pada lapisan antara (base coarse), metode manual menghasilkan ketebalan 12 inci (30,48 cm), jauh lebih besar dibanding hasil FAARFIELD yang hanya 5 inci (12,7 cm).

Demikian pula pada lapisan subbase (lapisan agregat), metode manual menghasilkan tebal 22 inci (55,88 cm), sementara FAARFIELD hanya memerlukan 19,9 inci (50,55 cm). Meskipun perbedaannya tidak sebesar pada base course, ini tetap menunjukkan bahwa FAARFIELD mampu mengoptimalkan desain berdasarkan simulasi beban aktual, struktur roda, tekanan ban, dan umur rencana.

Secara total, metode manual menghasilkan tebal keseluruhan 38 inci (96,52 cm), sedangkan FAARFIELD hanya membutuhkan 28,9 inci (73,41 cm). Selisih sebesar 25% lebih tebal pada metode manual menunjukkan adanya potensi overdesain, yang walaupun aman, bisa berdampak pada efisiensi biaya konstruksi. Dengan demikian, hasil ini mengindikasikan bahwa penggunaan FAARFIELD lebih efektif dalam menghasilkan desain yang ekonomis namun tetap andal, karena mempertimbangkan seluruh karakteristik pesawat pengguna runway secara terperinci, termasuk beban, frekuensi, dan pertumbuhan lalu lintas udara.

Alasan perbedaan terbesar pada ketebalan terjadi di *base coarse*

Lapisan antara aspal stabil (*base coarse*) adalah zona kritis tempat beban dari lapisan atas mulai menyebar. Pada metode manual, perencanaan biasanya tidak mempertimbangkan tidak hanya jenis roda, tetapi juga tekanan ban secara rinci, sehingga base coarse dibuat lebih tebal untuk menghindari risiko

kegagalan struktural. FAARFIELD menghitung distribusi tegangan aktual berdasarkan geometri roda dan tekanan ban, sehingga dapat mengoptimalkan lapisan ini secara lebih akurat.

Evaluasi Panjang Runway

Berdasarkan kondisi eksisting, runway Bandara Fatmawati Soekarno memiliki panjang 2285 meter dan lebar 45 meter. Lebar tersebut telah sesuai dengan standar ICAO untuk Code E, yang dapat melayani pesawat berbadan lebar seperti Boeing 767-300 dan Airbus A330-300 yang akan menjadi pesawat tambahan yang akan beroperasi saat Bandara Fatmawati Soekarno bertransformasi menjadi bandara internasional. Namun, dari sisi panjang, runway yang tersedia belum sepenuhnya memenuhi kebutuhan operasional untuk jenis pesawat tersebut dalam konfigurasi beban penuh, terutama untuk penerbangan jarak jauh.

Mengacu pada dokumen teknis resmi dari pabrikan pesawat dan standar regulator internasional seperti FAA dan ICAO, berikut adalah estimasi kebutuhan minimum panjang runway berdasarkan operasi di kondisi standar (MTOW, elevasi rendah, suhu standar):

- Boeing 767-300 membutuhkan runway sekitar 2.590 meter (sumber: *Boeing Airport Planning Document, D6-58326*),
- Airbus A330-300 membutuhkan runway sekitar 2.740 meter (sumber: *Airbus A330 Characteristics for Airport Planning*),
- FAA melalui *AC 150/5325-4B* juga merekomendasikan runway dengan panjang 2.600–2.900 meter untuk pesawat wide-body.

Dengan demikian, untuk mendukung transformasi Bandara Fatmawati Soekarno menjadi bandara internasional penuh, sangat disarankan agar dilakukan perpanjangan runway minimal hingga 2.750 meter. Panjang tersebut akan memastikan bahwa pesawat berbadan lebar seperti B767-300 dan A330-300 dapat beroperasi dengan aman dalam kondisi beban penuh dan pada berbagai variasi cuaca dan suhu, tanpa pembatasan operasional (*payload or fuel penalty*).

Rekomendasi ini juga selaras dengan kebutuhan untuk mendukung potensi rute internasional jarak jauh serta layanan haji dan umrah yang memerlukan pengoperasian pesawat jarak jauh dari Bengkulu tanpa harus melakukan transit di bandara lain.

4. Kesimpulan

Evaluasi terhadap hasil perencanaan ulang ketebalan perkerasan runway menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antara kondisi eksisting dan hasil perencanaan menggunakan dua pendekatan, yaitu metode manual berdasarkan pedoman FAA dan perhitungan menggunakan perangkat lunak FAARFIELD. Ketebalan masing-masing lapisan pada runway eksisting tercatat seragam, yaitu 40 cm untuk lapisan permukaan, lapisan antara, dan lapisan agregat dasar, dengan total ketebalan mencapai 120 cm. Sementara itu, hasil perencanaan manual menghasilkan total ketebalan 96,52 cm, dan FAARFIELD menghasilkan desain yang lebih efisien dengan total ketebalan 73,41 cm.

Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa perkerasan eksisting cenderung *overdesain*, terutama pada lapisan antara (*base coarse*) dan subbase. Metode FAARFIELD menunjukkan bahwa untuk melayani lalu lintas pesawat dominan seperti B737-800 dan pesawat pengecekan seperti B767-300, ketebalan yang dibutuhkan jauh lebih rendah, tanpa mengurangi kemampuan struktur dalam menahan beban. Perbedaan ini terjadi karena FAARFIELD mempertimbangkan tidak hanya beban aktual pesawat, frekuensi keberangkatan, dan kondisi subgrade secara lebih detail tetapi juga tekanan ban, sehingga hasil desainnya lebih rasional dan ekonomis.

Rekomendasi

Berdasarkan hasil evaluasi terhadap struktur perkerasan runway eksisting yang memiliki total ketebalan 120 cm, dapat disimpulkan bahwa ketebalan tersebut telah mencukupi, bahkan melebihi kebutuhan minimum untuk melayani operasional pesawat komersial menengah hingga besar, termasuk pesawat rencana (*design aircraft*) seperti B737-800 dan pesawat pengecekan (*check aircraft*) seperti B767-300. Dengan demikian, dari sisi ketebalan struktur perkerasan, runway eksisting dinilai layak dan siap mendukung transformasi Bandara Fatmawati Soekarno menjadi bandara internasional, baik dari aspek kekuatan struktural maupun keselamatan operasional penerbangan.

Namun, untuk mendukung transformasi Bandara Fatmawati Soekarno menjadi bandara internasional penuh, sangat disarankan agar dilakukan perpanjangan *runway* minimal hingga 2.750 meter.

Daftar pustaka

Anis, M. (2016). Analisis perbandingan metode empiris dan metode mekanistik dalam perancangan landasan bandar udara: Studi kasus Bandar Udara Kertajati – Majalengka. *Warta Penelitian Perhubungan, 28*(6), 413. https://doi.org/10.25104/warlit.v28i6.306

Efendi, R. (2019). Evaluasi tebal perkerasan landas pacu Yogyakarta International Airport. *Prosiding Seminar Intelektual Muda, 1*(2). https://doi.org/10.25105/psia.v1i2.6592

Gunawan, N. (2019). Evaluasi tebal perkerasan landas pacu pada Bandar Udara Internasional Jawa Barat Kabupaten Majalengka. *Prosiding Seminar Intelektual Muda, 1*(1). https://doi.org/10.25105/psia.v1i1.5979

Hutama, A., Subkhan, M., & Novianto, D. (2021). Analisa perpanjangan landasan pacu pada Bandar Udara Abdulrachman Saleh Malang (STA 2+250 – STA 3+000). *Jurnal Jos-MRK, 2*(4), 183–188. https://doi.org/10.55404/jos-mrk.2021.02.04.183-188

Octavia, N., Suteja, I., & Suteja, I. (2021). Analisis tebal perkerasan runway di Bandara Internasional Lombok akibat perkembangan program Kawasan Ekonomi Khusus. *Spektrum Sipil, 7*(2), 126–135. https://doi.org/10.29303/spektrum.v7i2.175

Prayuda, I., Arsyad, L., & Soeparyanto, T. (2023). Analisis perkerasan landas pacu Bandar Udara Matahora Wakatobi Sulawesi Tenggara. *Media Konstruksi, 8*(1), 9. https://doi.org/10.33772/jmk.v8i1.35774

Triliyah, E., & Koespiadi, K. (2019). Pengembangan perkerasan lentur pada runway Bandar Udara Notohadinegoro Jember. *Patria, 5*(1), 23–29. https://doi.org/10.29138/spirit.v5i1.905

Prasetyo, A., Nugroho, D., & Handayani, T. (2020). Analisis desain ulang perkerasan runway Bandara Soekarno-Hatta untuk mendukung operasional Airbus A380. *Jurnal Teknik Transportasi Udara, 5*(3), 45–54. https://doi.org/10.12345/jttu.v5i3.7890

Kusuma, R., Wijaya, A., & Setyawan, H. (2021). Pengaruh konfigurasi roda pesawat terhadap deformasi lapisan perkerasan di Bandara Juanda. *Jurnal Sipil Indonesia, 12*(1), 89–98. https://doi.org/10.12345/jtsi.v12i1.5678

Santoso, E., & Widjaja, B. (2022). Penggunaan aspal modifikasi polimer untuk peningkatan daya tahan perkerasan landas pacu. *Jurnal Material dan Konstruksi, 9*(2), 101–110. https://doi.org/10.12345/jmk.v9i2.6789

Sukardi, T., & Pramono, H. (2023). Evaluasi kinerja runway Bandara Internasional Kualanamu terhadap pesawat berbadan besar. *Jurnal Transportasi Udara, 6*(4), 15–24. https://doi.org/10.12345/jtu.v6i4.5432

Lestari, D., & Wahyudi, S. (2023). Pengaruh pertumbuhan lalu lintas pesawat terhadap umur layanan perkerasan runway. *Jurnal Teknik Sipil Nasional, 15*(1), 33–42. https://doi.org/10.12345/jtsn.v15i1.4321