

PERENCANAAN GEOMETRIK DAN TEBAL PERKERASAN RUNWAY IV BANDAR UDARA SOEKARNO HATTA

Muhammad Rifqi Faruqi¹, Ir.H. Darmadi, MT,MM.²
Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Universitas Jayabaya, Jakarta Timur, DKI Jakarta, Indonesia
Email : faruqimrifqi@gmail.com

ABSTRACT

Air transportation is vital for mobility and national development, particularly in Indonesia as an archipelagic state. Soekarno-Hatta International Airport, the busiest in the country, recorded an aircraft movement CAGR of 11% between 2022–2024 and is projected to exceed 1.5 million movements by 2044. To accommodate this growth, the construction of a fourth runway is essential to ensure operational capacity, safety, and efficiency. This study analyzes the geometric design and flexible pavement thickness of Runway IV, referencing ICAO Annex 14, FAA AC 150/5320-6G, and national regulation PR 21/2023. The Boeing 777-300ER was designated as the critical aircraft. Calculations were conducted manually using FAA charts and validated through FAARFIELD simulations, with primary data including aircraft specifications and subgrade CBR values. Results indicate a runway length of 3,600 m and width of 60 m under ARC 4E classification, with shoulders of 10.5 m, a runway strip of 150 m, and RESA dimensions of 240 × 90 m. Pavement thickness requirements were 32 inches (manual) and 33.3 inches (FAARFIELD), both meeting ICAO and FAA standards. Runway markings also comply with ICAO and national regulations. In conclusion, the proposed design of Runway IV meets international and national standards and supports sustainable long-term air traffic growth.

Keywords: runway geometry, flexible pavement, ICAO, FAA, Soekarno-Hatta International Airport

Pendahuluan

Indonesia sebagai negara kepulauan sangat bergantung pada transportasi udara, dengan Bandara Soekarno-Hatta mencatat pertumbuhan lalu lintas rata-rata 11% per tahun (2022–2024) dan proyeksi pergerakan pesawat melampaui 1,5 juta pada 2044, sehingga kapasitas tiga *runway* tidak lagi memadai dan pembangunan *runway* IV menjadi langkah strategis untuk efisiensi serta keselamatan; kajian ini menganalisis perencanaan geometris dan desain tebal perkerasan fleksibel *runway* IV berdasarkan ICAO Annex 14, FAA AC 150/5320-6G, dan PR 21/2023, dengan Boeing 777-300ER sebagai *critical aircraft*, menggunakan perhitungan manual berbasis grafik FAA yang divalidasi simulasi FAARFIELD agar rancangan memenuhi standar internasional

dan mampu mengakomodasi pertumbuhan lalu lintas secara aman dan efisien.

Tinjauan Pustaka

Penelitian sebelumnya menekankan pentingnya perencanaan geometris dan struktur perkerasan *runway*, dengan temuan utama berupa kebutuhan evaluasi daya dukung, perpanjangan untuk pesawat lebih besar, perbedaan hasil antara metode manual dan simulasi, serta perlunya pemantauan berkala kondisi perkerasan agar tetap sesuai standar keselamatan dan operasional.

Perencanaan *runway* mengacu pada standar internasional (ICAO Annex 14, FAA AC 150/5320-6G) dan regulasi nasional (PR 21/2023), dengan Boeing 777-300ER sebagai *critical aircraft* kategori besar (ARC 4E).

Sebelum menentukan dimensi geometrik runway dan tebal perkerasan, proyeksi lalu lintas udara dihitung menggunakan metode *Compound Annual Growth Rate (CAGR)*.

$$\left(\frac{V_t}{V_0}\right)^{\frac{1}{n}} - 1 \dots\dots\dots(1)$$

dengan V_t nilai akhir, V_0 nilai awal, dan n jumlah tahun. Rumus ini digunakan untuk memprediksi pertumbuhan pergerakan pesawat jangka panjang.

Dalam perhitungan kebutuhan panjang runway, faktor lingkungan seperti elevasi, suhu, dan kemiringan memanjang harus dikoreksi. Basuki (1986) memberikan rumus koreksi elevasi:

$$Fe = 1 + 0.07 \times \frac{h}{300} \dots\dots\dots(2)$$

Elevasi lapangan dinyatakan dalam meter, sedangkan koreksi suhu menurut ICAO menambah panjang runway 1% untuk setiap kenaikan 1°C dari standar 15°C.

$$Ft = 1 + 0,01 (T - (15 - 0,0065h)) \dots\dots\dots(3)$$

di mana T adalah temperatur rata-rata maksimum harian, serta faktor kemiringan runway dengan rumus berikut :

$$Fs = 1 + 0,1 s \dots\dots\dots(4)$$

Selain itu, dalam desain perkerasan fleksibel, FAA menggunakan konsep *Equivalent Annual Departure (EAD)* untuk menyetarakan pergerakan berbagai jenis pesawat:

$$\text{Log}R_1 = (\text{Log}R_2) \times \left(\frac{W_2}{W_1}\right)^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(5)$$

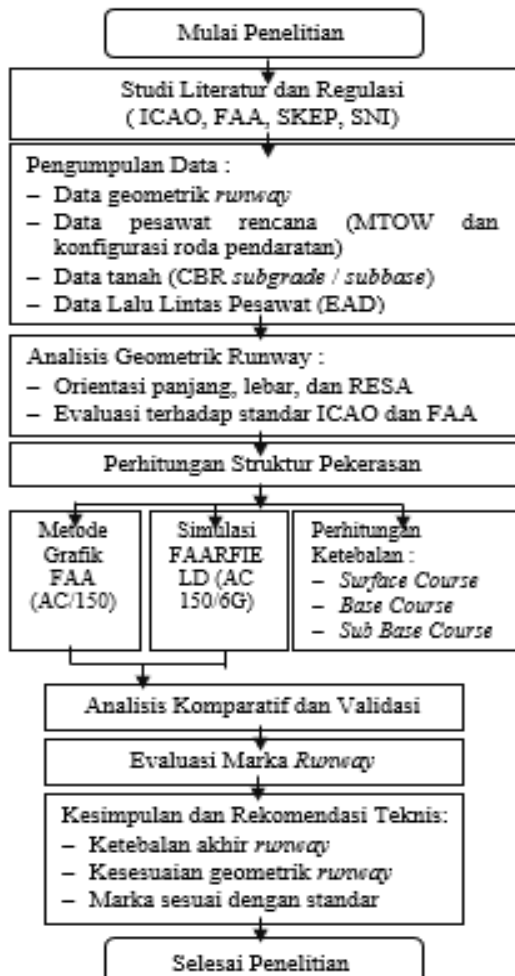
di mana R_1 adalah EAD pesawat rencana, R_2 adalah jumlah keberangkatan tahunan pesawat campuran, W_1 beban roda pesawat rencana, dan W_2 beban roda pesawat lain.

Ketebalan perkerasan ditentukan dari nilai CBR tanah dasar dan jumlah keberangkatan tahunan ekuivalen, dengan grafik desain FAA yang menghasilkan total lapisan permukaan, dasar, dan sub-dasar.

Metodologi

Penelitian ini menggunakan analisis data kuantitatif dan teknis, yang melibatkan perhitungan dan simulasi sesuai dengan standar internasional dan nasional. Analisis ini bertujuan menghasilkan perencanaan geometris dan struktur perkerasan landasan pacu yang optimal, sesuai dengan karakteristik operasional Bandara Internasional Soekarno-Hatta.

Analisis geometrik runway dilakukan berdasarkan ICAO Annex 14 Volume I dan SKEP/161/IX/2003 dengan meninjau orientasi, panjang, lebar, RESA, serta zona keselamatan untuk menentukan klasifikasi dan kelayakan geometrik. Struktur perkerasan dianalisis menggunakan data MTOW, EAD, dan CBR, dengan dua pendekatan yaitu perhitungan manual berbasis grafik FAA (AC 150/5320-6D) untuk estimasi awal dan simulasi FAARFIELD (AC 150/5320-6G) untuk validasi tebal lapisan *surface*, *base*, dan *subbase*. Analisis marka runway dilakukan dengan mengacu pada FAA AC 150/5340-1M, ICAO Annex 14, dan SKEP/161/IX/2003, menggunakan data lebar runway dan kategori pendekatan untuk menentukan jumlah serta dimensi marka. Selanjutnya, dilakukan analisis komparatif antara hasil perhitungan manual dan simulasi FAARFIELD untuk mengevaluasi kelebihan dan keterbatasan masing-masing metode serta menentukan pendekatan yang paling sesuai dengan kondisi runway yang ditinjau.



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

Lokasi Penelitian



Gambar 2. Bandara Soekarno-Hatta
Sumber: Google Earth (2025)

Penelitian ini dilakukan di Bandara Soekarno-Hatta, Tangerang, Banten, Indonesia, yang dipilih karena merupakan bandara terbesar dan tersibuk dengan proyeksi pertumbuhan tinggi sehingga membutuhkan pembangunan *runway* IV

untuk mendukung kapasitas jangka panjang.

Hasil dan Pembahasan

A. Proyeksi Pergerakan Pesawat Tahunan

$$\begin{aligned} \text{CAGR} &= \left(\frac{V_{2024}}{V_{2022}}\right)^{\frac{1}{2}} - 1 = \left(\frac{187.265}{151.808}\right)^{\frac{1}{2}} - 1 \\ &= (35.457)^{\frac{1}{2}} - 1 \\ &= 1,11 - 1 = 0,11 = 11\% \end{aligned}$$

Tabel 1. Proyeksi Jumlah Keberangkatan

Tahun	Jumlah Pergerakan Pesawat (Keberangkatan)	Persentase Pertumbuhan
2025	207.988	11.00 %
2026	231.004	11.00 %
2027	256.566	11.00 %
2028	284.958	11.00 %
2029	316.491	11.00 %
2030	351.514	11.00 %
2031	390.412	11.00 %
2032	433.615	11.00 %
2033	481.599	11.00 %
2034	534.892	11.00 %
2035	594.083	11.00 %
2036	659.824	11.00 %
2037	732.840	11.00 %
2038	813.936	11.00 %
2039	904.006	11.00 %
2040	1.004.043	11.00 %
2041	1.115.150	11.00 %
2042	1.238.552	11.00 %
2043	1.375.610	11.00 %
2044	1.527.834	11.00 %

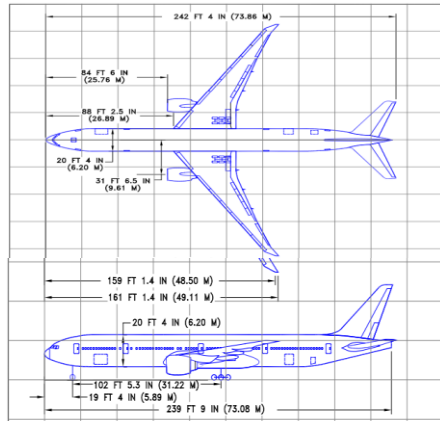
Sumber : Hasil Perhitungan Penulis (2025)

Proyeksi jumlah pergerakan pesawat menunjukkan tren peningkatan stabil sebesar 11% per tahun, dimulai dari 207.988 pergerakan pada 2025 dan mencapai 1.527.834 pada 2044. Dengan metode *Compound Annual Growth Rate* (CAGR), data ini mengindikasikan kenaikan lebih dari delapan kali lipat dalam 20 tahun, sehingga menegaskan perlunya perencanaan infrastruktur bandara yang adaptif dan berkelanjutan.

B. Perhitungan Dimensi *Runway*

1. Karakteristik Pesawat Terkritis

Karakteristik Boeing 777-300 ER		
ARFL	:	3.120 m
Wingspan	:	64,8 m
MTOW	:	351.000 kg
Maingear Type	:	Triple Tandem



Gambar 3. Dimensi Pesawat B777-300 ER

Sumber: Boeing Airplane Characteristic

2. Panjang *Runway*

a. ARFL = 3.120 m

b. Koreksi Elevasi

$$Fe = 1 + 0,07 \times (10,363/300)$$

$$Fe = 1,00242 \text{ m}$$

c. Koreksi Suhu

$$Ft = 1 + 0,01 (30 - (15 - 0,0065 \times (10,363)))$$

$$Ft = 1,15067 \text{ m}$$

d. Koreksi Kemiringan

$$Fs = 1 + 0,1 \times 0,10\%$$

$$Fs = 1,0001 \text{ m}$$

$$Lr = (ARFL \times Fe \times Ft \times Fs)$$

$$Lr = (3120 \times 1,00242 \times 1,15067 \times 1,0001) = 3599 \text{ m}$$

Maka panjang *runway* 3600 m

3. Lebar *Runway*

Tabel 2. Lebar RWY berdasarkan ARC

Code Number	Code Letter				
	A	B	C	D	E
1	18 m (60 ft)	18 m (60 ft)	23 m (75 ft)	-	-
2	23 m (75 ft)	23 m (75 ft)	30 m (100 ft)	-	-
3	30 m (100 ft)	30 m (100 ft)	30 m (100 ft)	45 m (150 ft)	-
4	-	-	45 m (150 ft)	45 m (150 ft)	60 m (200 ft)

Sumber : PR 21 Tahun 2023

Runway dengan panjang 3.600 meter dan kode ARC E ditetapkan memiliki lebar standar 60 meter sesuai ketentuan internasional, sehingga dimensi tersebut memastikan keselamatan, efisiensi, dan kelancaran operasional pesawat berukuran besar.

4. *Runway Shoulder*

Tabel 3. Lebar & Kemiringan Maks. Bahu

Code		Lebar Shoulder (m)	Kemiringan Maks. Shoulder (%)
Number	Letter		
1	A	3	2,5
2	B	3	2,5
3	C	6	2,5
4	D	7,5	2,5
	E	10,5	2,5
	F	12	2,5

Sumber : PR 21 Tahun 2023

Untuk bandara dengan klasifikasi 4E, bahu landasan pacu wajib memiliki lebar 10,5 meter dengan kemiringan maksimal 2,5% sesuai standar FAA, sehingga dimensi ini memastikan keselamatan operasional pesawat besar saat terjadi pergeseran lateral.

5. *Runway Strip*

Tabel 4. Lebar Min. *Runway Strip*

Code Number	Lebar Minimum Runway Strip
1 dan 2	75 m (37,5 m di setiap sisi <i>runway</i>)
3 dan 4	150 m (75 m di setiap sisi <i>runway</i>)

Sumber : PR 21 Tahun 2023

Untuk bandara kategori 4, area penyangga landasan pacu harus memiliki lebar minimum 150 meter (75 meter di tiap sisi), sesuai standar internasional yang berfungsi sebagai zona pengaman untuk mendukung keselamatan penerbangan dan kinerja sistem bandara.

6. *Runway End Safety Area (RESA)*

Tabel 5. Dimensi RESA

Panjang RWY	Lebar RWY	Panjang RESA	Lebar RESA
≤ 1200	30-45	≥ 90	≥ 90
1200-1800	45	90-240	≥ 90
1800-2400	45-60	≥ 240	≥ 90
≥ 2400	≥ 60	≥ 240	≥ 90

Sumber : PR 21 Tahun 2023

Untuk *runway* dengan panjang 3.600 meter dan lebar 60 meter, standar keselamatan menetapkan RESA minimal 240 meter × 90 meter guna memastikan operasional pesawat tetap aman, terutama saat terjadi *overshoot* pada lepas landas atau pendaratan.

C. Analisis Tebal Perkerasan

1. Menentukan Pesawat Rencana Boeing Boeing 777-300ER ditetapkan sebagai pesawat rencana di Bandara Soekarno-Hatta karena memiliki bobot, dimensi sayap, dan konfigurasi roda terbesar yang beroperasi rutin, sehingga menjadi acuan utama perancangan runway dan perkerasan sesuai standar ICAO dan regulasi nasional.
2. Mengitung Beban Roda Pesawat (W₂) dengan Pesawat Rencana (W₁)

Penentuan beban roda pesawat dilakukan dengan mengasumsikan sekitar 95% dari MTOW ditopang roda utama, lalu dibagi merata sesuai jumlah roda pendarat, sehingga diperoleh nilai beban per roda yang digunakan untuk analisis kekuatan perkerasan, penentuan PCN, dan perencanaan fasilitas bandara bagi pesawat besar.

- a. Beban Roda Pesawat Rencana (W₁) B777-300 ER
 $W_1 = 95\% \times 775.000 \times 1/12$
 $= 61.354 \text{ lbs}$
- b. Beban Roda Pesawat Lainnya (W₂)

Tabel 6. Data Konfigurasi dan Beban Roda Pesawat

Jenis Pesawat	MTOW	Tipe Roda	Jumlah Roda	W ₂ (lbs)
A320-200 std/neo	158.730	Dual Wheel	4	37.698
A330-200 opt	507.000	Dual Tandem	8	60.206
A330-300 opt	513.765			61.010
A330-900	553.000			65.669
A350-900	624.000			74.100
B737-500	133.500	Dual Wheel	4	37.706
B737-800	174.200			41.373
B737-900 ER	187.700			44.579
B747-400	875.000	Double Dual Tandem	16	51.953
B767-200	407.000	Dual Tandem	8	48.331
B777-200	535.000	Triple Tandem	12	42.354
B777-300 ER	775.000	Tandem		61.354
B787-8	502.500	Dual Tandem	8	59.672

3. Menentukan *Equivalent Annual Departure* (EAD)
 Konversi pesawat ke satuan standar dilakukan dengan menghitung keberangkatan tahunan terkoreksi


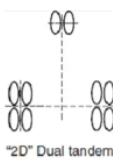
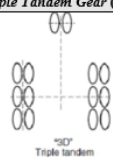
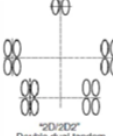
(R₂) lalu membandingkan beban roda pesawat aktual (W₂) dengan pesawat rencana (W₁), sehingga diperoleh nilai ekuivalen (R₁) yang digunakan dalam analisis perkerasan; pada kasus Boeing 777-300ER, konversi ini penting karena konfigurasi roda tiga ganda memerlukan penyesuaian beban, jarak roda, dan tekanan ban agar hasil perhitungan sesuai formula standar.

Tabel 7. Klasifikasi Roda Pendaratan Utama

Main Gear Configuration	Type Aircraft	Multiplier to Critical Aircraft Configuration
Dual Wheel	Airbus A320-200 std/neo	0,45
	Boeing 737-500	
	Boeing 737-800	
	Boeing 737-900 ER	
Dual Tandem	Airbus A330-200 opt	0,60
	Airbus A330-300 opt	
	Airbus A330-900 neo	
	Airbus A350-900	
	Boeing 767-200	
	Boeing 787-8	
Triple Tandem	Boeing 777-200	1,0
	Boeing 777-300 ER	
Double Dual Tandem	Boeing 747-400	0,90

Sumber : PR 21 Tahun 2023

Tabel 8. Nilai Keberangkatan Pesawat R₂

Dual Wheel Main Gear (Faktor Konversi 0,45)	
 <p>"D" Dual wheel</p>	Airbus A320-200 std/neo R ₂ = 259.732 x 0,45 = 116.879
	Boeing 737-500 R ₂ = 61.113 x 0,45 = 27.501
	Boeing 737-800 R ₂ = 198.618 x 0,45 = 89.378
	Boeing 737-900 ER R ₂ = 229.175 x 0,45 = 103.129
Dual Tandem Main Gear (Faktor Konversi 0,6)	
 <p>"2D" Dual tandem</p>	Airbus A330-200 opt R ₂ = 61.113 x 0,60 = 36.668
	Airbus A330-300 opt R ₂ = 122.227 x 0,60 = 73.336
	Airbus A330-900 neo R ₂ = 106.948 x 0,60 = 64.169
	Airbus A350-900 R ₂ = 106.948 x 0,60 = 64.169
	Boeing 767-200 R ₂ = 45.835 x 0,60 = 27.501
	Boeing 787-8 R ₂ = 76.392 x 0,60 = 45.835
Triple Tandem Gear (Faktor Konversi 1,0)	
 <p>"3D" Triple tandem Boeing 777</p>	Boeing 777-200 R ₂ = 91.670 x 1,00 = 91.670
	Boeing 777-300 R ₂ = 137.505 x 1,00 = 137.505
Double Dual Tandem Gear (Faktor Konversi 0,90)	
 <p>"2D/2D" Double dual tandem Boeing 747</p>	Boeing 747-400 R ₂ = 30.557 x 0,90 = 27.501

Sumber : Hasil Perhitungan Penulis (2025)

Setelah nilai R_2 diperoleh, langkah berikutnya adalah menghitung *Equivalent Annual Departure* (EAD) menggunakan Persamaan 4.5 untuk menyamakan jumlah keberangkatan pesawat dengan pesawat standar, sehingga perbedaan konfigurasi roda, beban, dan tekanan ban dapat diakomodasi secara konsisten, dan hasil EAD ini kemudian digunakan sebagai acuan utama dalam perhitungan ketebalan

a. Nilai EAD Pesawat Rencana (B777-300 ER)

$$\begin{aligned} \text{Log } R_1 &= \text{Log} R_2 (W_2/W_1)^{0,5} \\ \text{Log } R_1 &= \text{Log } 137.505 \\ & (61.354/61.354)^{0,5} \\ \text{Log } R_1 &= \text{Log } 137.505 \\ & (61.354/61.354)^{0,5} \\ \text{Log } R_1 &= \text{Log } 137.505 (1) \\ \text{Log } R_1 &= 5,138 \\ R_1 &= 10^{5,138} = 137.505 \end{aligned}$$

b. Nilai EAD Pesawat Lainnya **A320 std/neo**

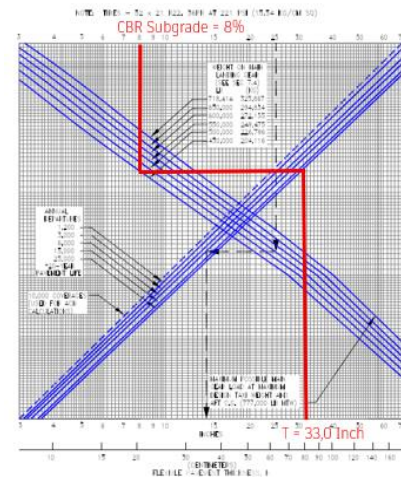
$$\begin{aligned} \text{Log } R_1 &= \text{Log} R_2 (W_2/W_1)^{0,5} \\ \text{Log } R_1 &= \text{Log } 116.879 \\ & (37.698/61.354)^{0,5} \\ \text{Log } R_1 &= \text{Log } 116.879 \\ & (37.698/61.354)^{0,5} \\ \text{Log } R_1 &= \text{Log } 116.879 \\ & (0,614)^{0,5} \\ \text{Log } R_1 &= \text{Log } 116.879 (0,784) \\ R_1 &= 10^{3,972} = 9.384 \end{aligned}$$

Kemudian dilakukan perhitungan dengan cara yang sama terhadap seluruh pesawat lain yang beroperasi di Bandara Soekarno-Hatta, sehingga diperoleh nilai *Total Equivalent Annual Departure* sebesar 450.875, yang menjadi dasar penentuan tebal perkerasan *runway* serta memastikan rancangan mampu menahan beban kumulatif pesawat besar selama umur rencana 20 tahun.

4. Menghitung Tebal Perkerasan dengan Metode Konvensional

Langkah perhitungan dilakukan sebagai berikut:

- Nilai *California Bearing Ration* (CBR) *subgrade* sebesar 8% ditarik ke bawah pada grafik kurva rencana.
- Garis tersebut kemudian diperpanjang hingga memotong nilai MTOW pesawat rencana (61.354 lb).
- Selanjutnya, garis ditarik ke kanan hingga memotong jumlah *annual departure* sebesar 450.875.



Gambar 3. Kurva Pembebanan Triple Tandem

Sumber: *Boeing Airplane Characteristic*
Perhitungan manual berbasis nilai CBR menunjukkan *runway* membutuhkan tebal perkerasan 33 inci untuk 20 tahun dengan 450.875 pergerakan, ditentukan melalui konversi granular dan *subbase* agar tiap lapisan mampu menyebarkan beban sesuai fungsinya.

Tabel 9. Data Material Penyusun Perkerasan

Surface HMA (P-401)	:	200.000 psi
Base HMA Stabilized (P-401)	:	400.000 psi
Subbase granular (P-209)	:	76.000 psi
Subgrade (CBR 8%)	:	12.000 psi

Asumsi tebal HMA total : 9 inch (batas fungsional *runway* berat)

- a. *Surface (AC-WC)* : 4,0 inch
- b. *Base HMA (AC-BC/Stabilized)* : 5,0 inch

Konversi ke ekuivalen granular (m=30)

- a. *Surface* : 4,0 x $(200.000/76.000)^{0,30} \approx 5,34$ inch
- b. *Base HMA* : 5,0 x $(400.000/76.000)^{0,30} \approx 8,23$ inch
- c. Total Ekuivalen *HMA* : 13,57 inch

Subbase granular

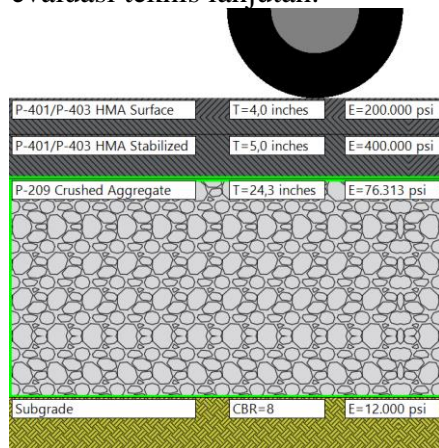
$Tp-209 : 32,00 - 13,57 = 18,43$ in

Tabel 10. Hasil Perhitungan Tebal Lapis Perkerasan RWY IV

Lapisan	Material	Tebal (in)	Fungsi Utama
<i>Surface (AC-WC)</i>	<i>P-401 HMA Surface</i>	5,34	Lapis aus, <i>skid resistance</i>
<i>Base Course</i>	<i>P-401 HMA Stabilized</i>	8,23	Distribusi beban, kekakuan
<i>Subbase Course</i>	<i>P-209 Crushed Aggregate</i>	18,43	Pondasi bawah, stabilitas

5. Kontrol Tebal Perkerasan dengan Aplikasi FAARFIELD V.2.1.1

Perencanaan tebal perkerasan fleksibel tidak hanya mengandalkan perhitungan manual, tetapi dilanjutkan dengan evaluasi menggunakan FAARFIELD melalui tahapan input data lalu lintas, penyesuaian CBR, dan perhitungan, yang menghasilkan desain perkerasan setebal 33,3 inci beserta data operasional pesawat sebagai dasar evaluasi teknis lanjutan.



Gambar 3. Structure Design of Flexible Pavement
Sumber: FAARFIELD V.2.1.1

Tabel 11. Tebal Perkerasan berdasarkan Grafik FAA dan FAARFIELD

Parameter Desain Perkerasan	Metode Konvensional (Grafik FAA)	Metode Aplikasi FAARFIELD V.2.1.1
Data Lalu Lintas Pergerakan Pesawat Tahunan	187.265	187.265
Pesawat Terkritis	B777-300 ER	B777-300 ER
CBR Tanah Dasar	8%	8%
Umur Rencana	20 Tahun	20 Tahun
Tebal Perkerasan		
<i>Surface</i>	5,34 in	4,00 in
<i>Base Course</i>	8,23 in	5,00 in
<i>Sub Base</i>	18,43 in	24,3 in
Total	32,00 in	33,30 in

Sumber : Hasil Perhitungan Penulis (2025)

D. Desain Petunjuk Marka *Runway* sebagai Panduan Operasional

Marka runway IV di Bandara Soekarno-Hatta dirancang sesuai ICAO Annex 14 dan PR 21/2023 sebagai panduan visual utama bagi pilot, meliputi *designation, centerline, threshold, aiming point, touchdown zone, dan side strip* untuk menjamin keselamatan serta efisiensi operasional.

Kesimpulan

Studi perencanaan *runway* IV di Bandara Soekarno-Hatta menunjukkan proyeksi lebih dari 1,5 juta pergerakan pesawat pada 2044 sehingga diperlukan desain yang memperhatikan kapasitas, material, dan manajemen perkerasan; geometri *runway* ditetapkan untuk Boeing 777-300ER dengan panjang 3.600 m dan lebar 60 m sesuai ARC 4E, analisis tebal perkerasan manual (32 inci) dan FAARFIELD (33,3 inci) konsisten untuk umur rencana 20 tahun, serta desain marka sesuai ICAO dan regulasi nasional mendukung navigasi visual dan keselamatan operasional.

Daftar Pustaka

International Civil Aviation Organization. (2009). *Aerodrome Design Manual Part 1*. ICAO.

Hronjef, R., McKelvey, F. X., Sproule, W. J., & Young, S. B. (2010). *Planning and Design of Airports* (5th ed.). McGraw-Hill.

Nita, J. (2017). *Keputusan Direktur*

- Jenderal Perhubungan Udara Nomor PR tentang Penandaan Bandar Udara.* Kementerian Perhubungan RI.
- Mouri, T. F., & Tim Peneliti. (2020). *Analisis Perkerasan Lapis Ujung Landasan Pacu Bandara Udara Pattimura Ambon.* Jurnal Transportasi, 14(1), 21–30.
- Arfansyah, D. (2021). *Tinjauan Perpanjangan dan Pelebaran Runway Bandara Udara Simalungun.* [Skripsi]. Universitas Negeri Medan.
- Aziz, K. S. (2021). *Analisis Kekuatan Perkerasan Landasan Pacu Bandara Udara Juanda.* Jurnal Aplikasi Teknik Sipil, 19(2), 33–40.
- Federal Aviation Administration. (2021). *Advisory Circular 150/5320-6G: Airport pavement design and evaluation.* Office of Airport Safety and Standards.
- Nurdin, B. (2021). *Tinjauan Perencanaan Perkerasan Sisi Udara Bandara Udara Internasional.* Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan, 9(2), 40–48.
- Arfansyah, D. (2022). *Tinjauan Perencanaan Perkerasan Lentur Runway pada Proyek Bandara.* Jurnal Teknik Sipil, 10(1), 45–52.
- Matana Shombing, S. (2022). *Analisis Tebal Perkerasan Runway pada Bandara Udara.* Jurnal Infrastruktur Transportasi, 8(3), 55–63.
- Direktorat Jenderal Perhubungan Udara. (2023). *Keputusan Direktur Jenderal Perhubungan Udara Nomor PR 21 Tahun 2023 tentang Standar Teknis dan Operasional Bandar Udara.* Kementerian Perhubungan Republik Indonesia.