

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bandar Udara

2.1.1 Pengertian Bandar Udara

Menurut Direktorat Jenderal Perhubungan Udara tahun 2017 yang dimaksud dengan Bandar Udara adalah suatu wilayah di daratan dan/atau perairan yang memiliki batas-batas tertentu dan digunakan sebagai lokasi pesawat udara untuk melakukan aktivitas pendaratan dan lepas landas, proses naik-turun penumpang, pengangkutan barang, serta sebagai tempat transfer intra dan antar moda transportasi. Bandar udara dilengkapi dengan fasilitas keselamatan dan keamanan penerbangan, serta fasilitas pokok dan pendukung lainnya. Menurut Annex 14 dari ICAO (Organisasi Penerbangan Sipil Internasional), Bandar Udara merujuk pada area spesifik di daratan dan perairan, termasuk bangunan, instalasi, dan peralatan, yang secara keseluruhan atau sebagian didedikasikan untuk kegiatan kedatangan, keberangkatan, dan pergerakan pesawat.

Tiap bandara memiliki kode IATA (International Air Transport Association) dan ICAO (International Civil Aviation Organization) yang unik satu sama lain. Kode tersebut dapat berasal dari berbagai sumber, termasuk nama bandara atau kota. Kode yang berasal dari nama bandara mungkin berbeda dengan nama saat ini karena bandara tersebut mungkin telah mengalami perubahan nama sebelumnya. Sesuai dengan ICAO (1999), hal ini dapat terjadi.

Pada land aerodrome terdapat berbagai fasilitas utama dengan satu sebutan kawasan pergerakan dan dibagi menjadi :

1. *Runway* merupakan tempat yang digunakan untuk take-off maupun landing suatu pesawat terbang yang beroperasi.
2. *Taxiway* (Landasan Hubung) adalah Sebuah lintasan yang menghubungkan landasan pacu dan apron juga berperan sebagai akses bagi pesawat untuk masuk atau keluar dari landasan pacu menuju terminal dan sebaliknya..
3. Apron adalah sarana parkir yang posisinya berada diantara bangunan terminal dan taxiway yang dimaksud untuk menempatkan pesawat terbang agar cepat memuat dan turunkan penumpang . luas area Apron biasanya dipengaruhi oleh

beberapa faktor antara lain : ukuran dan karakteristik manuver pesawat terbang, volume lalu lintas apron, persyaratan ruang bebas

2.1.2 Klasifikasi Bandar Udara

(Menurut horonjeff :2015) Untuk mengatur standar geometri desain berbagai jenis bandara dan tujuan pelayanan mereka, berbagai surat, kode numerik, dan deskriptor lainnya telah diterapkan untuk mengkategorikan bandara. Ini mengaitkan persyaratan desain bandara dengan karakteristik operasional dan fisik pesawat yang akan beroperasi di bandara tersebut. Kelompok Desain Pesawat (Airplane Design Group - ADG) adalah sistem pengelompokan yang didasarkan pada lebar sayap atau tinggi ekor pesawat terbang.

Tabel 2. 1 Aircraft approach categories

Kategori	approach speed, kn
A	<91
B	91-120
C	121-140
D	141-166
E	>166

(Sumber : horonjeff 2010 Hal.175)

Tabel 2. 2 Aircraft Design Groups

Group Number	Tail height, ft	Wingspan, ft
I	<20	< 49
II	20 - < 30	49 - < 79
III	30 - < 45	79 - < 118
IV	45 - < 60	118 - < 171
V	60 - < 66	171 - < 214
VI	66 - < 80	214 - < 262

(Sumber : horonjeff 2010 Hal.175)

Tabel 2. 3 ICAO Aerodrome reference code

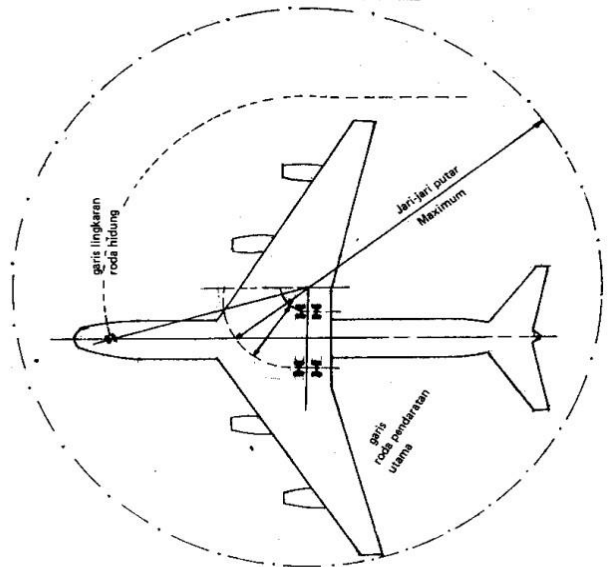
Code number	Reference field length, m	Code letter	Wingspan, m	Distance between outside edges of main wheel gear, m
1	<800	A	< 15	< 4.5
2	800 - < 1200	B	15 - < 24	4.5 - < 6
3	1200 - < 1800	C	24 - < 36	6 - < 9
4	≥1800	D	36 - < 52	9 - < 14
		E	52 - < 65	9 - < 14
		F	65 - < 80	14 - < 16

(Sumber : horonjeff 2010 Hal.176)

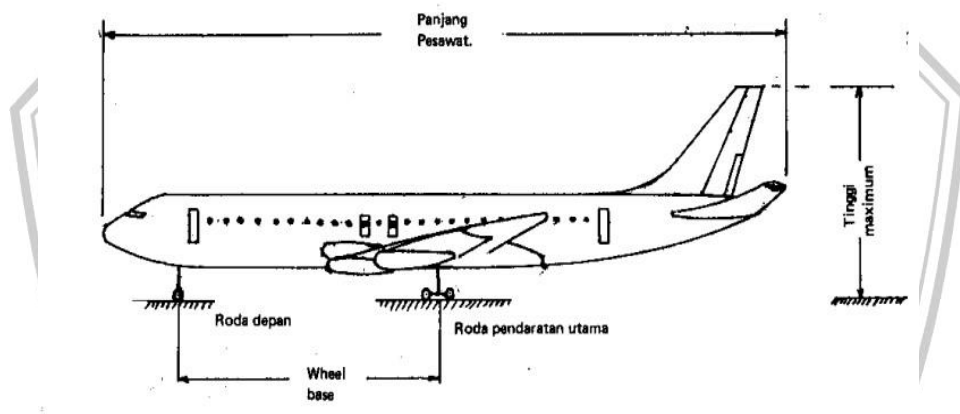
2.2 Karakteristik Pesawat

Ciri-ciri pesawat yang berpengaruh signifikan terhadap bandar udara adalah panjang landasan pacu dan jarak yang harus ditempuh memiliki dampak pada berat lepas landas. Dalam konteks ini, pentingnya perkerasan landasan pacu dan kekakuan landasan, serta lebar dan panjang pesawat dipengaruhi oleh landasan pacu. Menurut Mahyuddin, dkk (2021) karakteristik pesawat terbang antara lain:

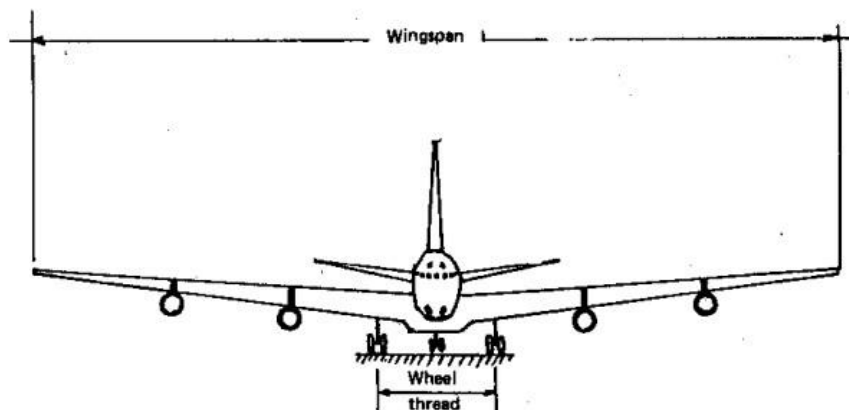
- Berat (Weight) adalah Berat pesawat digunakan untuk merencanakan ketebalan perkerasan dan kekuatan landasan
- Ukuran (Size) adalah ukuran pesawat yang disebut fuselag dapat mempengaruhi ukuran runway.
- Kapasitas Penumpang adalah jumlah yang mampu ditampung suatu tempat.
- Panjang landasan pacu berhubungan dengan luas area yang diperlukan untuk sebuah bandara. Meskipun umumnya dianggap bahwa pesawat yang lebih besar memerlukan landasan pacu yang lebih panjang, hal tersebut tidak selalu akurat. Untuk maskapai besar, faktor penentu kebutuhan landasan pacu yang panjang lebih banyak terkait dengan jarak yang dibutuhkan untuk lepas landas (Take Off Weight).



Gambar 2. 1 Radius putar pesawat (sumber: Mahyuddin, dkk 2021 Hal. 23)



Gambar 2. 2 Tampak Samping Pesawat Terbang (sumber: Mahyuddin, dkk 2021 Hal. 23)



Gambar 2. 3 Tampak Depan Pesawat Terbang (sumber: Mahyuddin, dkk 2021 Hal. 23)

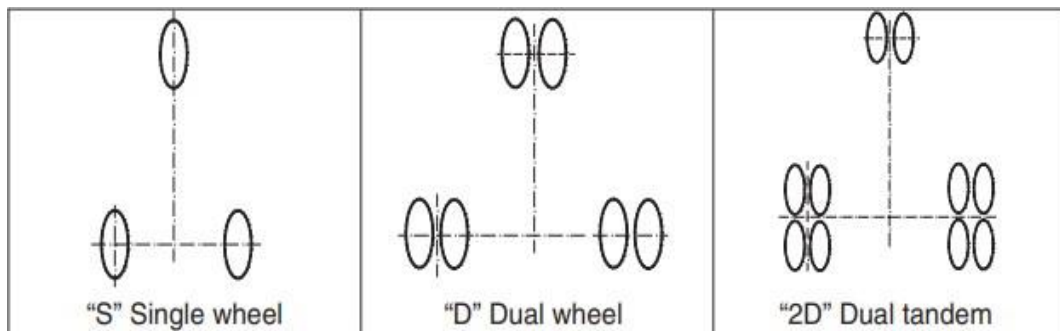
2.2.1 Konfigurasi Roda Pendaratan Pada Pesawat

(Mahyuddin, dkk 2021) Pesawat yang beroperasi saat ini di bandara-bandara sipil di seluruh dunia telah dirancang dengan berbagai pilihan konfigurasi roda pendaratan. Umumnya, pesawat-pesawat ini dapat dibagi menjadi salah satunya dari tiga konfigurasi roda pendaratan utama: konfigurasi roda tunggal, yang memiliki dua roda secara keseluruhan, satu di masing-masing kedudukan roda; konfigurasi dua roda, yang terdiri dari empat roda secara keseluruhan, dua di setiap kedudukan roda utama; dan konfigurasi dual-tandem, yang memiliki dua set roda pada masing-masing strukturnya.

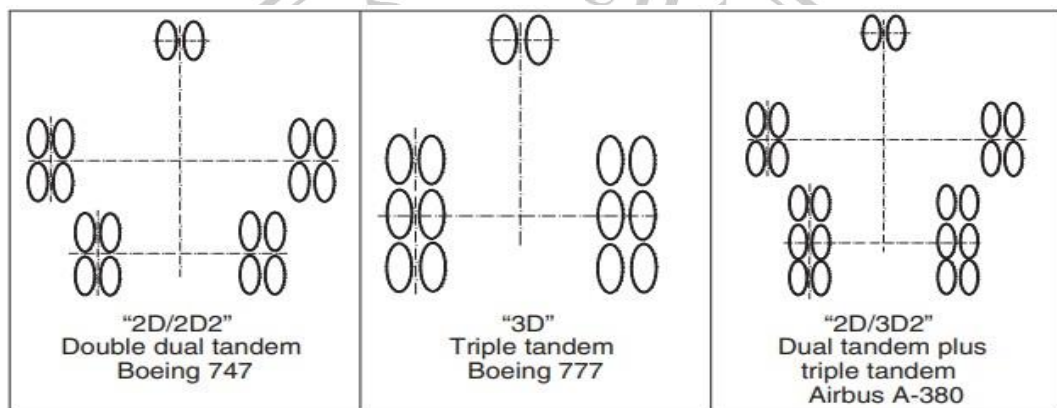
Tabel 2. 4 Radius putar minimum untuk pesawat penumpang biasa

Aircraft	Max. Steering Angle, deg	Radius, ft		
		Wingtips	Nose	Tail
MD-81/83/88	82	65.9	80.7	74.3
MD-90	82	66.5	85.5	74.6
B-737-800	78	69.4	65.4	73.6
B-727-200	78	71	79.5	80
A-320	70	72.2	60	71.9
B-757-200	65	92	84	91
A-310	65	98	75.6	94.9
A-300-600	65	104.9	87.7	108.4
B-767-200	65	112	85	98
B-747-200	70	113	110	125
B-747-SP	70	113	93	97
B-767-300	65	116.4	96.1	108.4
DC-10-30	68	118.1	105	100.8
MD-11	70	121.5	113.8	102
B-767-400	65	129.5	108.2	119.6
A-340	78	130.6	109.9	120.4
B-777-300	70	132	125	142
B-787-8	70	132	96.4	111
B-747-400	70	157	117	96

(Sumber : horonjeff, 2010 Hal. 60)



Gambar 2. 4 Konfigurasi Dasar Roda Pesawat (Sumber : horonjeff, 2010 Hal. 61)



Gambar 2. 5 Konfigurasi kompleks Roda Pesawat (Sumber : horonjeff, 2010 Hal. 61)

2.2.2 Bobot Pesawat Terbang

a. Operating Weight Empty (OWE)

Bobot pesawat terbang tanpa muatan penumpang atau barang, termasuk kru dan alat-alat pesawat, tidak termasuk bahan bakar, bervariasi berdasarkan konfigurasi tempat duduk pada setiap pesawat dan ukurannya.

b. Maximum Landing weight (MTOW)

Berat maksimum pesawat yang diizinkan saat lepas landas atau take off, yang disebut sebagai OWE-Fuel-Reserve Fuel-Payload, tidak selalu merupakan pilihan ekonomis. Hal ini karena pesawat jarang mendarat dengan berat maksimum struktural take off weight, sehingga perencanaan pesawat hanya untuk menahan berat tersebut mungkin tidak efisien secara ekonomi.

c. Maximum Landing Weight (MLW)

Berat maksimum yang diperbolehkan saat mendarat adalah hasil dari mengurangi berat kosong (OWE) dengan berat cadangan (Reserve), bahan bakar (Fuel), dan muatan (Payload). Untuk menerima beban yang lebih besar, roda pendaratan utama yang dirancang untuk menahan tekanan lebih besar harus memiliki roda pendaratan yang lebih kuat.



Tabel 2. 5 Karakteristik Pesawat Udara

JENIS PESAWAT	REF CODE	KARAKTERISTIK PESAWAT UDARA					
		ARFL (m)	Lebar sayap (m)	OMGWS (m)	Panjang (m)	MTOW (kg)	TP (Kpa)
Airbus A320	3C	2090	34.1		37.6	73500	1140
Airbus A319	3C	1520	34.1		33.8	64000	1070
CESSNA CAR-206	1A	274	10.9	2.6	8.6	1639	
DASH 6	1B	695	19.8	4.1	15.8	5670	220
CN-235-300	1C	1200	25.81	7.0	21.4	16500	
DASH 7	1C	910	28.3	7.8	24.6	19505	626
C 208	1A	274	10.9	2.6	8.6	1639	
CASSA 212-300	2B	866	20.3	3.6	16.1	8100	
Dornier 328-100	2B	1090	20.1		21.3	13.988	
Dornier 328-300	2B	1088	21		21.3	13.988	
ATR 42-500	2C	1160	24.6	4.10	22.7	18600	790
DASH 8 (300)	2C	1100	27.4	8.5	25.7	18642	805
MA 60	2C	1100	29.2		24.71	21800	
Challenger 605	3B	1780	19.61		20.85	21900	
Snort 330-200	3B	1310	22.76		17.69	10387	
ATR 72-500	3C	1220	27.0	4.10	27.2	22500	
ATR 72-600	3C	1290	27.05	4.10	27.16	22800	
Bombardier Global Express	3C	1774	28.7	4.9	30.3	42410	1150
Embraer EMB 120	3C	1560	19.78	7.3	20	11500	828
Fokker F100	3C	1820	28.1	5.0	35.5	44450	920
Fokker F27-500	3C	1670	29.0	7.9	25.1	20412	540
Fokker F28-4000	3C	1680	25.1	5.8	29.6	32205	779
Fokker F50	3C	1760	29.0	8.0	25.2	20820	552
McDonnell Douglas DC-3	3C	1204	28.8	5.8	19.6	14100	358
McDonnell Douglas DC9-20	3C	1551	28.5	6.0	31.8	45360	972
RJ-200	3C	1600	26.34	4.72	30.99	44226	
SAAB SF-340	3C	1300	21.4	7.5	19.7	12371	655
Airbus A300 B2	3D	1676	44.8	10.9	53.6	142000	1241
ATP	3D	1350	30.6	9.3	26	22930	720
C 130 H (Hercules)	3D	1783	39.7	4.3	29.3	70300	95
EMB 145 LR	4B	2269	20	4.1	29.87	22000	999.74
Airbus A320-200	4C	2090	34.1	8.7	37.6	72000	1360
Boeing B717-200	4C	1680	28.5	6.0	37.8	51710	1048
Boeing B737-200	4C	1990	28.4	6.4	30.53	52400	1145

(Sumber : KP No. 39 Tahun 2015)

Tabel Lanjutan 2.5

JENIS PESAWAT	REF CODE	KARAKTERISTIK PESAWAT UDARA					
		ARFL (m)	Lebar sayap (m)	OMGWS (m)	Panjang (m)	MTOW (kg)	TP (Kpa)
Boeing B737-300	4C	1940	28.9	6.4	33.4	61230	1344
Boeing B737-400	4C	2540	28.9	6.4	36.5	63083	1400
Boeing B737-500	4C	1830	28.9	5.2	31	60560	
Boeing B737-600	4C	1750	34.3	5.72	31.2	65090	
Boeing B737-700	4C	1600	34.3	5.72	33.6	70143	
Boeing B737-800	4C	2256	34.3	6.4	39.5	70535	1470
Boeing B737-900	4C	2240	34.3	7	42.1	66000	1470
Bombardier CRJ 1000 NextGen	4C	1996	26.2	-	39.1	40824	1060
Bombardier CRJ 1000 NextGen EL	4C	1882	26.2	-	39.1	38995	1060
Bombardier CRJ 1000 NextGen ER	4C	2079	26.2	-	39.1	42640	1060
McDonnell Douglas DC9-30	4C	1800	28.5	6.0	36.4	48988	1050
McDonnell Douglas DC9-80/MD80	4C	2553	32.9	6.2	45.1	72575	1390
McDonnell Douglas MD82	4C	2270	32.8	6.2	45.1	67812	1268.64
McDonnell Douglas MD83	4C	2550	32.8	6.2	45.1	72574	1268.64
McDonnell Douglas MD87	4C	1860	32.8	6.2	39.7	63503	1268.64
McDonnell Douglas MD88	4C	2550	32.8	6.2	45.1	67812	1268.64
Sukhoi SJ-100-95LR	4C	1800	27.80		29.8	492150	
Airbus A300-600	4D	2332	44.8	10.9	54.1	165000	1260
Airbus A310-200	4D	1860	43.9	10.9	46.7	132000	1080
Boeing B707-300	4D	3088	44.4	7.9	46.6	151315	1240
Boeing B757-200	4D	2350	38.0	8.7	47.3	108860	1172
Boeing B767-200ER	4D	2600	47.6	10.8	48.5	156500	1310
Boeing B767-300ER	4D	2400	47.6	10.8	54.9	172365	1310
Boeing B767-400ER	4D	3400	51.9	10.8	61.4	204120	1262
Lockheed L1011-100/200	4D	3300	47.3	12.8	54.2	211378	1207
McDonnell Douglas DC10-30	4D	3170	50.4	12.6	55.5	251733	1276
McDonnell Douglas DC8-63	4D	3179	45.2	7.6	57.1	158757	1365
McDonnell Douglas MD11	4D	3100	51.7	12.0	61.6	273289	1400
Tupolev TU154	4D	2300	37.6	12.4	48.0	90300	930

(Sumber : KP No. 39 Tahun 2015)

Tabel Lanjutan 2.5

JENIS PESAWAT	REF CODE	KARAKTERISTIK PESAWAT UDARA					
		ARFL (m)	Lebar sayap (m)	OMGWS (m)	Panjang (m)	MTOW (kg)	TP (Kpa)
Airbus A 330-200	4E	2220	60.3	12.0	59.0	230000	1400
Airbus A 330-300	4E	2500	60.3	12.0	63.6	230000	1400
Airbus A 340-300	4E	2200	60.3	12.0	63.7	253500	1400
Boeing B747-300	4E	3320	59.6	12.4	70.7	377800	1323
Boeing B747-400	4E	3020	64.4	12.4	70.7	394625	1410
Boeing B747-SP	4E	2160	59.6	12.4	56.3	318420	1413
Boeing B777-200	4E	2500	60.9	12.8	63.7	287800	1400
Boeing B777-200ER	4E	3000	60.9	12.9	63.7	247200	1480
Boeing B777-300	4E	3700	60.9	12.9	73.9	297550	1500
Boeing B777-300ER	4E	3300	64.8	12.9	73.9	299370	
Boeing B787-8	4E	2650	60.1	9.8	56.7	228500	
Airbus A 380	4F	2050	79.8	14.3	72.7	560000	1470
Boeing B747-800	4F	2700	68.5	12.7	76.4	442253	

(Sumber : KP No. 39 Tahun 2015)

2.3 Perencanaan Sisi Udara (Air Side)

2.3.1 Konfigurasi Landasan Pacu

Landasan pacu (runway) adalah jalur yang digunakan untuk pesawat mendarat dan lepas landas di bandara. Terdapat berbagai konfigurasi landasan pacu yang dapat digunakan di bandara. Beberapa dari konfigurasi tersebut adalah sebagai berikut: (Sartono et al., 2019)

a. Single Runway

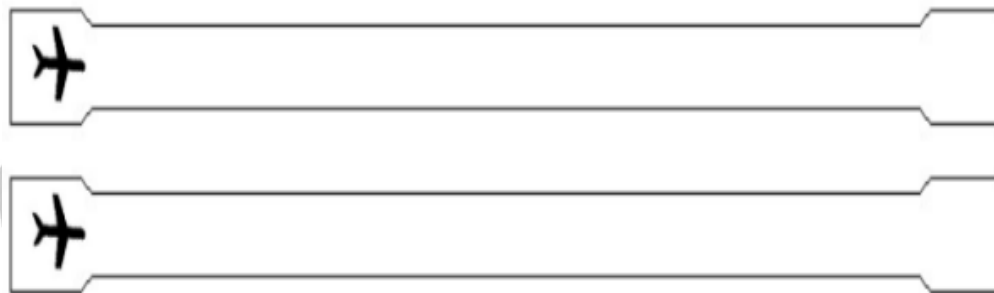
Landasan pacu tunggal ini adalah konfigurasi paling sederhana. Diperkirakan bahwa dalam kondisi VFR, satu landasan pacu dapat menangani antara 51 hingga 100 operasi per jam. Namun, dalam kondisi IFR, kapasitasnya akan berkurang menjadi sekitar 50 hingga 70 operasi per jam, bergantung pada jenis pesawat dan peralatan navigasi yang tersedia.



Gambar 2. 6 Single Runway (Sumber Mahyudin, dkk 2021 Hal. 63)

b. Parallel Runways

Kapasitas sistem runway paralel dipengaruhi oleh jumlah runway yang tersedia dan jarak antara mereka. Biasanya, terdapat dua, tiga, atau empat landasan pacu paralel, dan jarak antara mereka dapat beragam. Dalam konteks ini, ruang antara landasan pacu dikategorikan sebagai dekat, sedang, atau jauh, bergantung pada jarak antara garis tengah dua landasan pacu paralel.

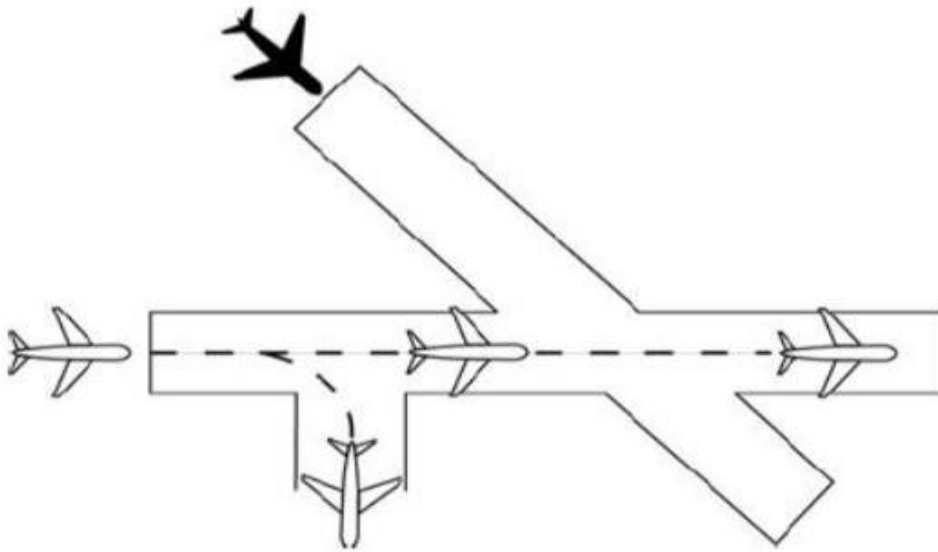


Gambar 2. 7 Parallel Runways (sumber : Mahyudin, dkk 2021 Hal. 63)

c. Intersecting Runways

Banyak bandara memiliki dua atau lebih landasan pacu yang saling bersilangan dengan arah yang berbeda, yang dikenal sebagai landasan pacu berpotongan. Persimpangan landasan pacu ini diperlukan ketika angin yang bertiup relatif kuat berasal dari lebih dari satu arah, sehingga hanya ada angin silang berlebihan pada satu landasan pacu. Ketika angin kencang, hanya satu landasan pacu yang berpotongan dapat digunakan, yang mengakibatkan penurunan kapasitas lapangan terbang secara signifikan. Namun, saat angin relatif ringan, kedua landasan pacu dapat digunakan secara bersamaan. Kapasitas dua landasan pacu yang berpotongan ini bergantung pada lokasi persimpangan, yaitu apakah persimpangan berada di tengah landasan pacu atau dekat ujungnya, serta pada strategi penggunaan landasan pacu dan jenis pesawat yang beroperasi di bandara tersebut. Semakin jauh persimpangan dari ujung landasan pacu lepas landas dan ambang pendaratan, semakin rendah

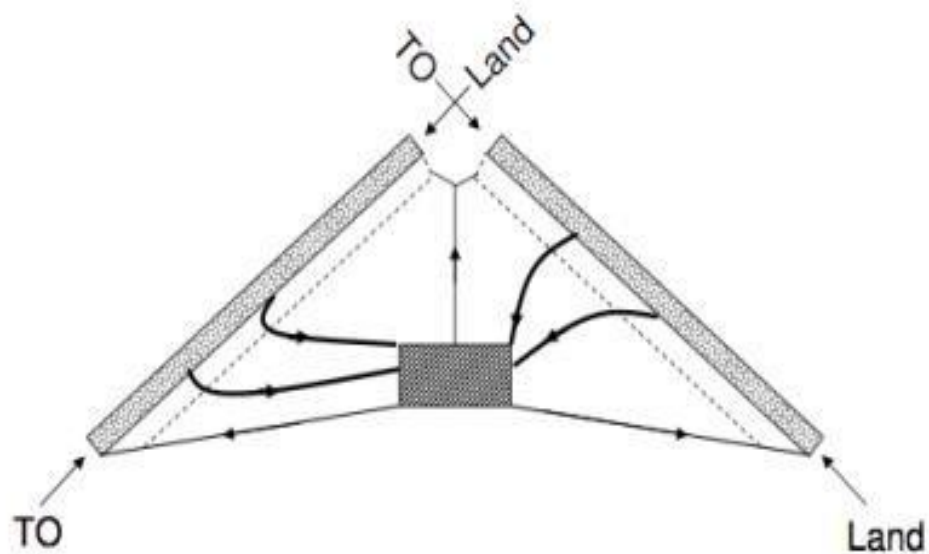
kapasitasnya. Kapasitas tertinggi biasanya dicapai ketika persimpangan berada dekat dengan ujung landasan pacu.



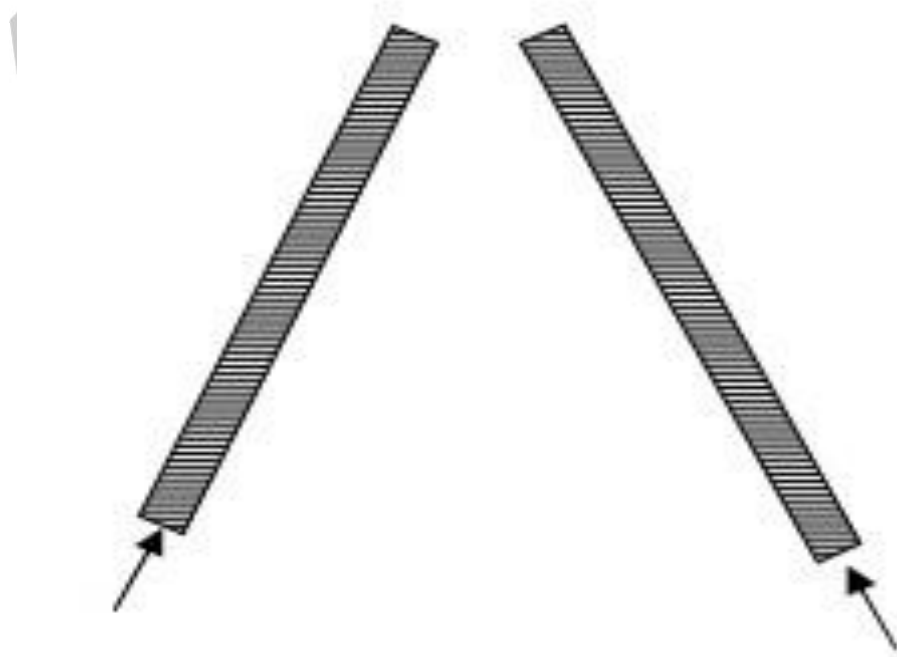
Gambar 2. 8 Intersecting Runways (Sumber : Mahyudin, dkk 2021 Hal.64)

d. Open-V Runways

Landasan pacu berbeda dalam arah yang tidak saling berpotongan dikenal sebagai landasan pacu V terbuka. Ketika tidak ada gangguan, landasan pacu V dapat mengarah ke landasan pacu tunggal saat angin bertiup dari arah tertentu. Saat angin berkecepatan rendah, kedua landasan pacu dapat digunakan secara simultan. Strategi yang paling efisien dalam hal kapasitas adalah saat operasi terjadi jauh dari landasan pacu V, yang dikenal sebagai pola divergen. Dalam cuaca visual (VFR), kapasitas per jam untuk strategi ini berkisar antara 60 hingga 180 operasi per jam, sedangkan dalam cuaca instrumen (IFR), kapasitasnya berkisar antara 50 hingga 80 operasi per jam. Ketika pesawat mendekati landasan pacu V, hal ini disebut sebagai pola konvergen, dan kapasitasnya akan berkurang menjadi sekitar 50 hingga 100 operasi per jam dalam VFR dan antara 50 hingga 60 operasi per jam dalam IFR.



Gambar 2. 9 Open V-Runways (Sumber : Mahyudin, dkk 2021 Hal. 65)




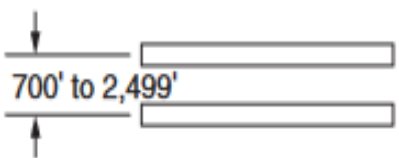
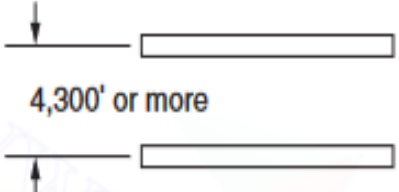
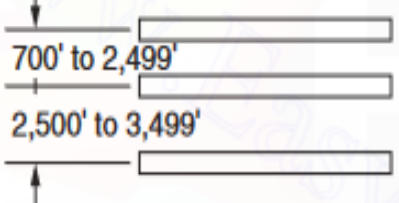
Gambar 2. 10 Close-V Runways (Sumber : Mahyudin, dkk 2021 Hal.65)

2.3.2 Kapasitas Runway

Kapasitas adalah kemampuan maksimal landas pacu untuk menangani pesawat terbang. Ini adalah parameter yang sangat penting untuk menentukan sejauh mana landas pacu digunakan saat pesawat lepas landas atau mendarat. Selain itu, kapasitas landas pacu juga memberikan informasi tentang seberapa efisien

bandara digunakan, dengan menunjukkan rata-rata kapasitas per jam dan per tahun dalam berbagai konfigurasi landas pacu.

Tabel 2. 6 Kapasitas perjam dan tahunan runway

Runway Configuration	Mix Index, % (C + 3D)	Hourly Capacity, Operations per Hour		Annual Service Volume, Operations per Year
		VFR	IFR	
A 	0-20	98	59	230,000
	21-50	74	57	195,000
	51-80	63	56	205,000
	81-120	55	53	210,000
	121-180	51	50	240,000
B 	0-20	197	59	355,000
	21-50	145	57	275,000
	51-80	121	56	260,000
	81-120	105	59	285,000
	121-180	94	60	340,000
C 	0-20	197	119	370,000
	21-50	149	114	320,000
	51-80	126	111	305,000
	81-120	111	105	315,000
	121-180	103	99	370,000
D 	0-20	295	62	385,000
	21-50	219	63	310,000
	51-80	184	65	290,000
	81-120	161	70	315,000
	121-180	146	75	385,000

(Sumber: horonjeff, 2010 Hal. 533)

Tabel Lanjutan 2.6

E		0-20	394	119	715,000
		21-50	290	114	550,000
		51-80	242	111	515,000
		81-120	210	117	565,000
		121-180	189	120	675,000
F		0-20	98	59	230,000
		21-50	77	57	200,000
		51-80	77	56	215,000
		81-120	76	59	225,000
		121-180	72	60	265,000
G		0-20	150	59	270,000
		21-50	108	57	225,000
		51-80	85	56	220,000
		81-120	77	59	225,000
		121-180	73	60	265,000
H		0-20	132	59	260,000
		21-50	99	57	220,000
		51-80	82	56	215,000
		81-120	77	59	225,000
		121-180	73	60	265,000

(Sumber: horonjeff, 2010 Hal.533)

2.3.3 Karakteristik Runway

Adapun karakteristik landasan pacu dapat dilihat sebagai berikut :

1. Lebar Perkerasan Struktural Landasan

Tabel 2. 7 Lebar Perkerasan Runway

Nomor	A	B	C	D	E
1	18 m	18 m	23 m		
2	23 m	23 m	30 m		
3	30 m	39 m	30 m	45 m	
4			45 m	45 m	45 m

(Sumber : Mahyudin, dkk 2021 Hal. 23)

2. Kemiringan Memanjang Runway

Tabel 2. 8 Kemiringan Memanjang Runway

kriteria	1	2	3	4
max effective slope	1,0	1,0	1,0	1,0
max longitudinal	1.25	1,5	2,0	2,0
max longitudinal slope change	1,5	1,5	2,0	2,0
slope change per 30 m	0,1	0,2	0,4	0,4

(Sumber : Mahyudin, dkk 2021 Hal. 24)

3. Kemiringan Melintang Runway

Tabel 2. 9 Kemiringan Melintang Runway

nomor kode	kemiringan melintang
A	2%
B	2%
C	1.50%
D	1.50%
E	1.50%

(Sumber : Mahyudin, dkk 2021 Hal.24)

2.3.4 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Panjang Runway

Menurut ICAO, ARFL merujuk pada panjang landasan pacu maksimum yang dibutuhkan untuk lepas landas dengan berat maksimum pesawat yang bersertifikat, pada ketinggian di atas permukaan laut yang standar, dalam kondisi atmosfer standar, tanpa adanya angin yang mempengaruhi, dan landasan pacu yang datar (tanpa kemiringan).

Menurut ICAO berikut adalah faktor yang dapat mempengaruhi panjang runway :

1. Panjang runway dasar (Basic Actual Length) ditentukan berdasarkan kondisi bandara yang diasumsikan sebagai berikut :
 - a. Ketinggian bandara dengan referensi pada ketinggian permukaan laut
 - b. Suhu bandara yang dianggap sebagai suhu standar.
 - c. Landasan pacu datar yang tidak memiliki kemiringan longitudinal.
 - d. Landasan pacu tidak dipengaruhi oleh angin.
2. Panjang landas pacu yang disyaratkan, bisa diketahui dengan menggunakan basic runway length atau panjang runway dasar setelah itu dikalkulasikan dengan angka koreksi supaya dapat mengubah elevasi, suhu juga kelandaian landas pacu ditempat perencanaan runway tersebut
 - a. Temperature

Dalam suhu yang lebih tinggi, diperlukan landasan yang lebih panjang. Menurut ICAO, panjang landasan harus disesuaikan dengan peningkatan suhu sebesar 1°C, dengan rekomendasi ICAO untuk perhitungan koreksi suhu menggunakan rumus berikut

$$F_t = 1 + 0,01 (T - (15 - 0,0065 \times h)) \text{ metric}$$

$$F_t = 1 + 0,0056 (T - (59 - 0,0036 \times h)) \text{ imperial}$$

Ket :

F_t = koreksi untuk temperatur

T = suhu bandara

h = elevasi bandara

- b. Ketinggian altitude

Saat elevasi landas pacu meningkat, kerapatan udara akan berkurang, yang mengurangi gaya angkat sayap pesawat. Untuk mengatasi peningkatan elevasi ini, dilakukan koreksi elevasi dengan menaikkan sebesar 7% setiap 300 meter di atas permukaan air laut:

$$Fe = 1 + 0,07 \frac{h}{300} \text{ metrik}$$

$$Fe = 1 + 0,07 \frac{h}{300} \text{ imperial}$$

Ket :

Fe = koreksi elevasi

h = elevasi bandara

- c. Kriteria perencanaan lapangan terbang mengatur bahwa kemiringan landasan (Runway Gradient) harus dibatasi hingga 1½%. Untuk menghitung kemiringan yang efektif dalam perencanaan bandar udara, FAA memperkenalkan konsep "effective Gradient," yaitu perbedaan tinggi antara titik tertinggi dan titik terendah dalam penampang memanjang landasan dibagi dengan panjang total landasan yang tersedia :

$$Fs = 1 + 0,1 S \text{ (metrik atau imperial)}$$

Ket :

Fs = koreksi kemiringan bandara

S = gradien efektif runway

- d. Menghitung ARFL

Untuk menentukan panjang landasan pacu minimum yang dibutuhkan oleh pesawat yang direncanakan, digunakan persamaan berikut dalam perhitungannya:

$$La = ARFL \times Ft \times Fe \times Fs$$

Ket :

La = panjang rencana landasan pacu

ARFL = panjang landas pacu minimum

Ft = faktor koreksi suhu

Fs = faktor koreksi kemiringan

Fe = faktor koreksi elevasi

2.3.5 Struktur Perkerasan Landas Pacu

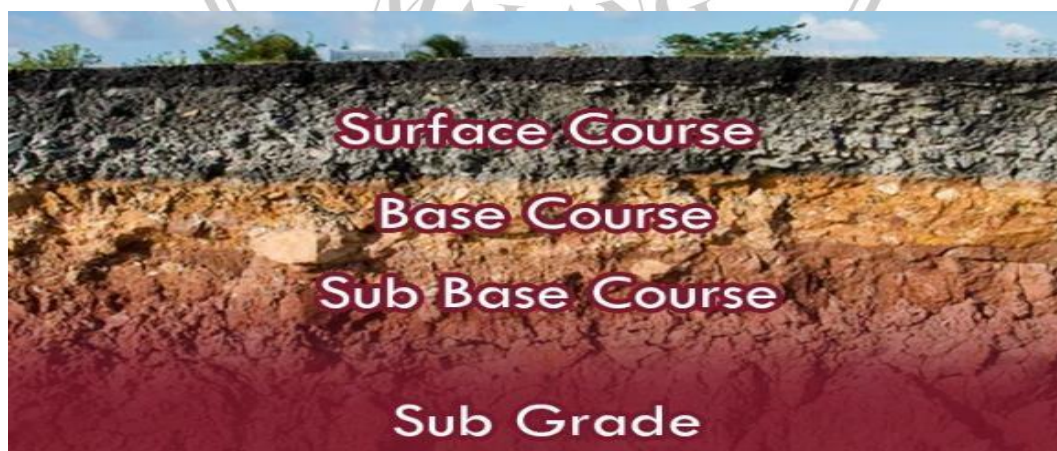
Menurut Mahyuddin dkk (2021) "Perkerasan berfungsi sebagai fondasi

untuk pesawat udara, dan permukaannya yang rata menciptakan landasan pesawat yang stabil. Untuk memenuhi fungsinya ini, penting bahwa setiap lapisan perkerasan, dari yang paling atas hingga yang paling bawah, memiliki kekerasan dan ketebalan yang cukup agar tidak mengalami "Distress" (kerusakan akibat ketidakmampuan menahan beban).

Perkerasan fleksibel terdiri dari beberapa lapisan, termasuk surface course, base course, dan subbase course, yang semuanya ditempatkan di atas tanah asli yang telah dipadatkan dan disebut sebagai subgrade. Sementara perkerasan lentur mencakup lapisan permukaan yang menggunakan aspal, yang ditempatkan di atas base course, dan dalam beberapa kasus, subbase, tergantung pada kondisi tanah dasar.

Lapisan surface adalah komponen utama dalam struktur perkerasan, berfungsi untuk mendistribusikan beban roda ke subbase dan tanah dasar. Desainnya harus mampu mencegah kerusakan pada tanah dasar, menahan tegangan yang timbul di base course, menahan tekanan vertikal yang dapat menyebabkan konsolidasi dan deformasi akibat pemakaian, serta mengatasi perubahan volume yang disebabkan oleh perubahan kadar air.

Sub base jika dibutuhkan memiliki fungsi serupa dengan base course, tetapi karena terletak lebih dalam di bawah beban yang diterapkan, ia mengalami tingkat tegangan yang lebih rendah. Subbase biasanya diperlukan ketika perkerasan lentur harus ditempatkan di atas tanah dengan nilai CBR (California Bearing Ratio) kurang dari 20. Perkerasan fleksibel dengan subbase course tersedia dalam berbagai jenis.



Gambar 2. 11 Struktur Perkerasan Fleksibel (Sumber : Wahyudi Hal. 48)

2.4 Metode Perencanaan Perkerasan Lapangan Terbang

Menurut Sartono (2019) Sebelum tahun 2008, FAA menggunakan metode standar untuk merancang perkerasan lentur yang dikenal sebagai metode CBR. Pendekatan ini bergantung pada grafik perkiraan yang mempertimbangkan nilai CBR dari tanah dasar serta jumlah dan berat kotor pesawat desain yang lepas landas setiap tahunnya.

Menurut Mahyuddin (2021) Terdapat beberapa pendekatan yang digunakan dalam perencanaan perkerasan lapangan terbang, meskipun tidak ada yang dianggap sebagai standar oleh organisasi penerbangan dunia seperti ICAO. Beberapa dari metode-metode ini mencakup :

2.4.1 Metode FAA

Menurut Mahyuddin (2021) pada dasarnya analisa statistik perbandingan perbandingan kondisi lokal dari tanah, sistem drainase, cara pembebanan untuk tingkah laku beban. FAA telah membuat klasifikasi tanah yang mana dibagi menjadi beberapa bagian.

1. Klasifikasi E1 mengacu pada tanah dengan gradasi yang baik, kasar, dan butiran yang tetap stabil. Biasanya terdiri dari pasir yang memiliki gradasi baik dan kerikil tanpa butiran halus.
2. Jenis tanah dalam Klasifikasi E2 mirip dengan E1, tetapi mengandung sedikit lebih banyak lumpur atau tanah liat daripada pasir.
3. Klasifikasi E3 dan E4 meliputi tanah dengan butiran halus dan sedikit pasir, dengan gradasi yang relatif lebih buruk dibandingkan E1 dan E2.
4. Tanah dalam Klasifikasi E5 memiliki gradasi yang buruk, dengan kandungan campuran lumpur dan tanah liat lebih dari 35% dan kurang dari 45%.
5. Klasifikasi E6 mencakup lumpur yang mengandung pasir. Tanah ini stabil dalam kondisi kering, tetapi stabilitasnya hilang dalam kondisi basah.
6. Klasifikasi E7 terdiri dari tanah liat berlumpur, pasir berlempung, dan lumpur berlempung. Tanah ini memiliki konsistensi mulai dari kaku hingga lunak dalam kondisi kering, tetapi menjadi plastis dalam kondisi basah.
7. Klasifikasi E8 mirip dengan E7, tetapi memiliki liquid limit yang lebih tinggi yang menghasilkan derajat pemampatan yang lebih besar.

Tabel 2. 10 Hubungan CBR dan Klasifikasi subgrade menurut FAA

Klasifikasi	CBR
Fa	20 (atau lebih)
F1	16-20
F2	13-16
F3	11-13
F4	9-11
F5	8-9
F6	7-8
F7	6-7
F8	5-6
F9	4-5
F10	3-4

(sumber : Basuki, 2014 Hal. 75)

Selanjutnya identifikasi pesawat rencana dengan bobot paling tinggi pada ketebalan perkerasan, kemudian ubah pesawat tersebut menjadi pesawat rencana lengkap dengan tingkat departur tahunan setara. Selanjutnya, perkiraan jumlah penerbangan tahunan dan konfigurasi roda pendaratan dapat diprediksi dengan menggunakan rumus yang sesuai.

$$W1 = \text{MTOW Pesawat rencana} \times 95\% \times \frac{1}{\text{jumlah roda pesawat utama}}$$

$$W2 = \text{MTOW Pesawat operasi} \times 95\% \times \frac{1}{\text{jumlah roda pesawat utama}}$$

R2 = keberangkatan tahunan x faktor penggali keberangkatan tahunan

$$R1 = 10^{\text{Log}R2} \left(\frac{W2}{W1} \right)^{0.5}$$

Ket :R1= Equivalent annual departure pesawat rencana

R2 = Annual departure pesawat dinyatakan dalam roda pendaratan pesawat rencana

W1 = Bobot roda dari pesawat rencana

W2= Bobot roda dari pesawat yang ingin diketahui

Pesawat dengan tubuh yang lebar, yang diperkirakan memiliki berat sekitar 300.000 lbs, dan dilengkapi dengan roda pendaratan ganda tandem untuk menghitung tingkat keberangkatan tahunan yang setara, juga memiliki berbagai jenis roda pendaratan yang berbeda yang perlu diubah ke satuan yang sama.

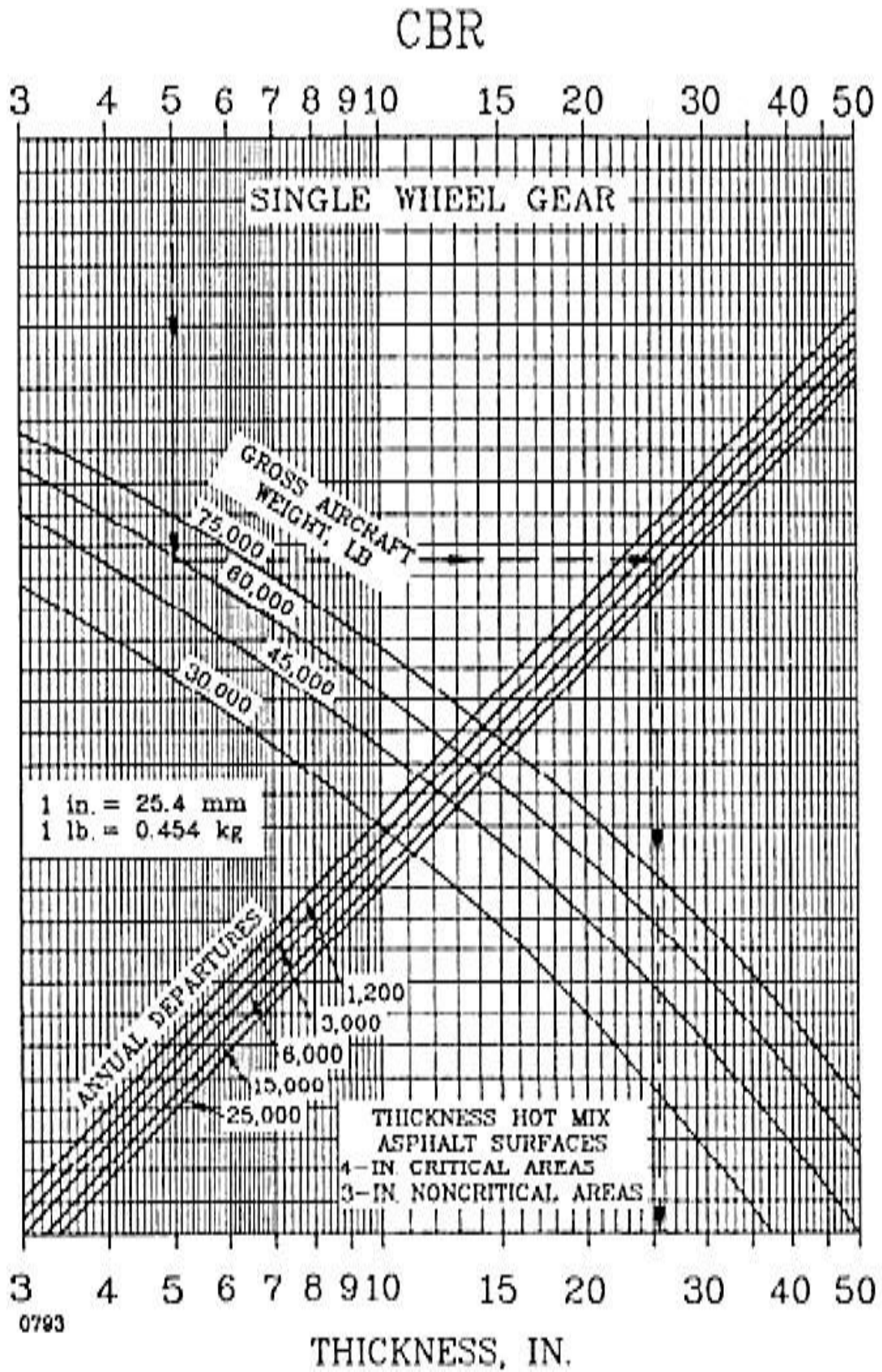
Tabel 2. 11 Konversi roda pendaratan

konversi dari	ke	faktor pengkali
single wheel	dual wheel	0.8
single wheel	dual tandem	0.5
dual wheel	dual tandem	0.5
double dual wheel	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

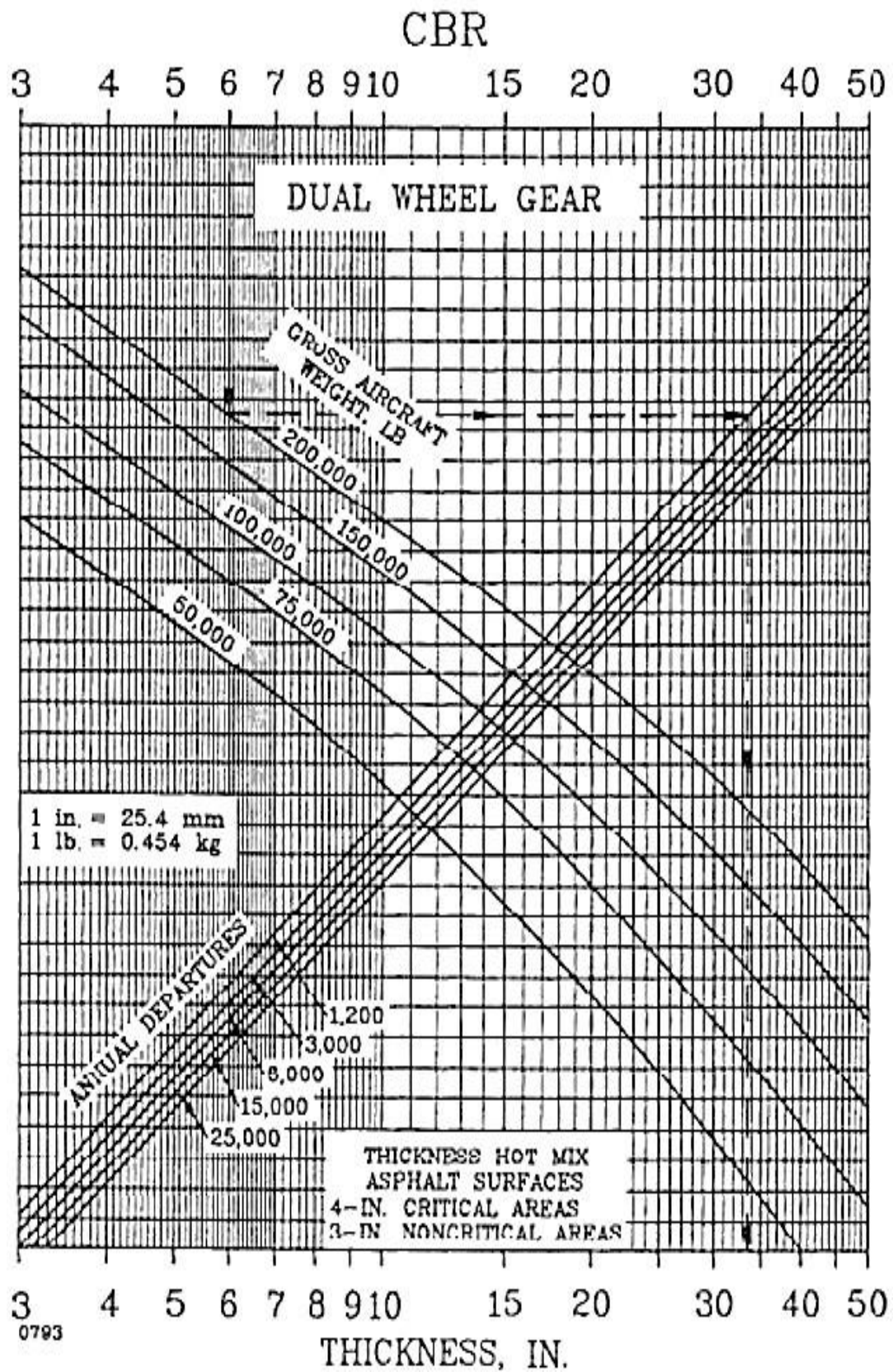
(sumber : Basuki, 2014, Hal. 78)

2.4.2 Grafik FAA untuk Perencanaan Perkerasan Lentur

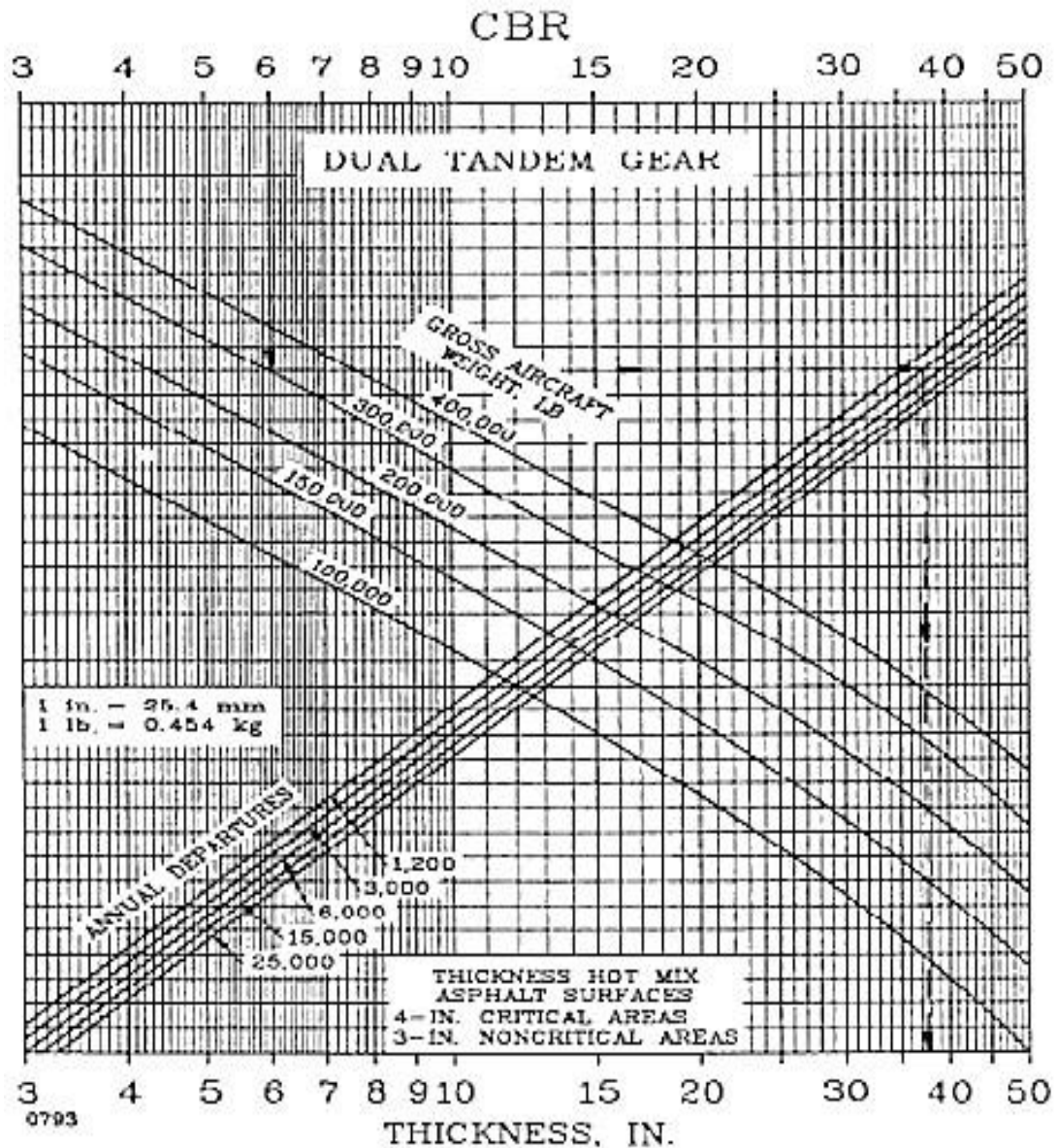
Perencanaan infrastruktur menggunakan metode FAA berdasarkan pada kurva perencanaan perkerasan yang diprakarsai oleh Corp of Engineer. Metode ini didasarkan pada perhitungan CBR yang telah terbukti kehandalannya. Dengan menggunakan grafik FAA, kita dapat mengestimasi usia perencanaan hingga 20 tahun tanpa memerlukan perbaikan besar, kecuali ada perubahan dalam lalu lintas pesawat. Untuk menerapkan grafik ini, diperlukan data seperti nilai CBR subbase, subgrade, MTOW pesawat rencana, dan juga keberangkatan tahunan setara pesawat rencana. Data ini kemudian digunakan dalam kurva grafik untuk menghitung ketebalan total perkerasan yang diperlukan.



Gambar 2. 12 Grafik Perencanaan Perkerasan Lentur untuk Single Wheel
(sumber : Basuki, 2014 Hal. 81)



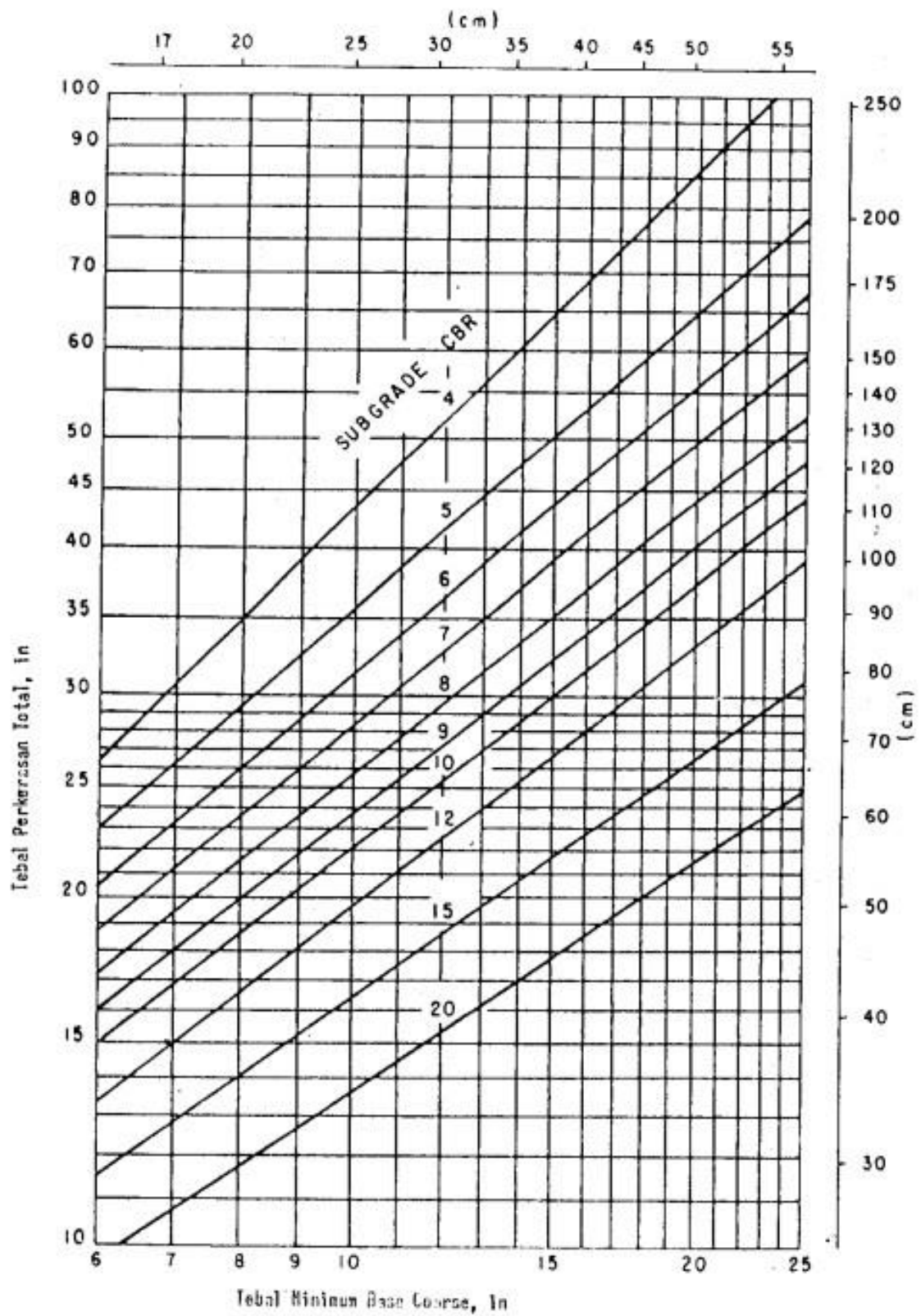
Gambar 2. 13 Grafik perencanaan perkerasan lentur untuk dual wheel
(sumber : Basuki, 2014 Hal. 84)



Gambar 2. 14 Grafik perencanaan perkerasan lentur untuk dual tandem (sumber : Basuki, 2014 Hal. 86)

2.4.3 Menentukan Tebal Base Course

Tebal Base Course adalah jumlah tebal keseluruhan yang diperoleh dengan mengurangi tebal subbase dan tebal surface. Selanjutnya, tebal ini diperiksa dengan membandingkannya dengan tebal minimal Base Course dari grafik. Jika tebal minimal Base Course yang diperoleh dari grafik lebih besar daripada hasil perhitungan atau analisis, maka selisihnya akan diambil dari lapisan Subbase Course, sehingga mengubah tebal Subbase Course.



Gambar 2. 15 Grafik perencanaan tebal base course (sumber :Basuki, 2014 Hal. 89)

Metode CBR

Mengenai tahap-tahap dari merencanakan tebal perkerasan fleksibel menggunakan metode CBR sebagai berikut :

- a. Menyiapkan tanah dasar untuk tes CBR dalam laboratorium
- b. Menentukan nilai equivalent single wheel load berupa bobot roda tunggal, dalam menentukan ESWL didasrai oleh tegangan vertika, lengkungan dan regangan
- c. Menentukan pesawat rencana, dengan melihat nilai MSTOW (*maximum structural take off weight*)
- d. Menentukan lalu lintas pesawat, dalam metode ini banyak total repetisi bobot pesawat rencana yang dihitung menggunakan bentuk ESWL dalam mengkalkulasi tebal total perkerasan dengan menggunakan rumus:

$$\text{Log(ESWL)} = \text{LOG } pd + \frac{0,31 \log(2xd)}{\text{Log}\left(\frac{2xz}{d}\right)}$$

- e. Menghitung tebal total perkerasan menggunakan rumus

$$t = \sqrt{ESWL \left(\frac{1}{8.1 \text{ CBR}} - \frac{1}{P \pi} \right)}$$

Ket : t = tebal perkerasan yang dibutuhkan

ESWL = beban pesawat yang dipikul roda

P = tekanan udara terhadap roda (psi)

2.5 Rencana Anggaran Biaya

Menurut National Estimating Society, perkiraan biaya sebagai salah satu metode yang digunakan, menjadi landasan untuk memproyeksikan kebutuhan biaya dalam suatu kegiatan dengan merujuk pada informasi yang tersedia. Namun, di sisi lain, perencanaan anggaran biaya dapat dianggap sebagai bentuk yang lebih sederhana dari perkiraan biaya, yang bergantung pada informasi lapangan yang tersedia. Dalam konteks upaya memproyeksikan pembiayaan untuk 45 kegiatan proyek, estimasi ini menuntut pertimbangan mendalam terhadap faktor-faktor seperti kondisi kegiatan, teknologi yang digunakan, dan produktivitas tenaga kerja. Dengan demikian, keakuratan proyeksi biaya ini dapat memberikan pandangan yang

lebih komprehensif mengenai sumber daya yang dibutuhkan dalam mendukung kelancaran pelaksanaan proyek tersebut.

Menurut Agus B (2019) Penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB) proyek merupakan proses yang melibatkan analisis mendalam terhadap komponen-komponen utama, seperti material, upah, dan peralatan. Dengan merinci setiap komponen ini, hasil analisisnya kemudian membentuk Harga Satuan Pekerjaan (HSP). RAB sendiri memiliki peran yang sangat penting dalam konteks perencanaan dan pelaksanaan proyek. Salah satu manfaatnya adalah sebagai referensi utama dalam menyusun daftar rincian harga penawaran saat kontraktor mengajukan penawaran untuk mendapatkan proyek tersebut. Pentingnya RAB tidak hanya terbatas pada tahap pengajuan penawaran. Pemilik proyek juga seringkali melakukan perhitungan awal atau estimasi biaya proyek mereka sebelum memulai pelaksanaan, yang dikenal sebagai Estimasi Pemilik (Owner Estimate). Estimasi ini menjadi landasan awal yang membantu pemilik proyek dalam mengalokasikan sumber daya dengan lebih efisien dan merencanakan anggaran secara lebih terperinci.

Dengan demikian, RAB bukan hanya sekadar dokumen anggaran biaya, tetapi juga menjadi instrumen penting yang membantu mengarahkan perencanaan dan pengelolaan proyek secara keseluruhan.. Selain pemilik proyek, konsultan juga dapat melakukan estimasi biaya untuk proyek tersebut, yang disebut sebagai Estimasi Perencana (Engineer Estimate). Selain itu, pihak pelaksana proyek juga menyusun perkiraan biaya dengan tujuan mengajukan penawaran untuk pekerjaan tersebut dalam proses lelang. Rumus dasar yang digunakan untuk menentukan Rencana Anggaran Biaya dapat bervariasi tergantung pada kebutuhan proyek tertentu.:

$$RAB = \sum[(Volume) \times Harga \text{ Satuan Pekerjaan}]$$

Adapun penjelasan komponen penyusun RAB sebagai berikut :

1. Komponen biaya langsung (Direct Cost)

- a. Biaya bahan/material : harga bahan yang digunakan untuk berlangsungnya pelaksanaan konstruksi
- b. Upah tenaga kerja : Nilai imbal jasa yang diberikan kepada pekerja harus

berdasarkan dengan kemampuan mereka, dan pembayaran upah kepada tenaga kerja harus berdasarkan produktivitas individu setiap pekerja. menentukan produktivitas secara pasti menjadi suatu tantangan. Oleh karena itu, nilai satuan upah pekerja ditetapkan berdasarkan jumlah pekerjaan yang diselesaikan dalam hitungan satu hari atau (8 jam) kerja. Ada juga beberapa jenis tenaga kerja yang dapat dibedakan. Pekerja

1. Pekerja terampil
 2. Tukang (besi,batu,kayu dan lain-lain)
 3. Kepala tukang
 4. Mandor
 5. Operator alat berat
 6. Penjaga Malam
- c. Biaya peralatan : dalam perencanaan biaya, peralatan sewa, pemindahan, dan pembongkaran menjadi faktor yang berpengaruh terhadap kinerja proyek. Peralatan berat tersedia dalam berbagai jenis yang dapat digunakan dalam setiap proyek.
1. Dozer
 2. Crane
 3. Motor Grader
- d. Komponen biaya secara tidak langsung (Indirect Cost)
- a. Overhead umum: penyewaan kantor, peralatan kantor
 - b. Overhead proyek: merupakan biaya yang dibebankan kepada proyek tetapi tidak dapat dibebankan kepada biaya bahan-bahan ataupun upah kerja
 - c. Profit : keuntungan yang diperoleh oleh pelaksana kegiatan sebagai biaya jasa
 - d. Pajak : yaitu biaya yang dibayarkan kepada negara seperti PPN,PPH dan lainnya atas hasil operasi perusahaan.

2.5.1 Unsur-Unsur Anggaran Biaya

Dalam melaksanakan perencanaan anggaran biaya ada sebaiknya mengetahui tentang unsur-unsur penyusun yang ada dalam perencanaan anggaran biaya :

- a. Untuk menentukan skala pekerjaan secara akurat, dapat dilakukan melalui dua pendekatan utama, yaitu dengan memeriksa objek yang tergambar dengan rinci dalam gambar kerja atau melalui perhitungan langsung yang dilakukan di lokasi pekerjaan. Proses ini melibatkan pemahaman mendalam terhadap detail-detail konstruksi yang terdapat dalam gambar kerja, sehingga memungkinkan estimasi yang lebih presisi terkait besarnya pekerjaan yang harus dilakukan. Selain itu, perhitungan langsung di lapangan juga menjadi pendekatan yang valid, terutama ketika faktor-faktor tertentu tidak dapat sepenuhnya diwakili dalam gambar kerja.
 - b. Pentingnya satuan pengukuran yang tepat dalam setiap perhitungan tidak dapat dipandang remeh, karena tanpa kejelasan satuan pengukuran, keseluruhan pekerjaan dapat kehilangan makna dan akurasi. Satuan pengukuran yang jelas dan konsisten menjadi landasan yang sangat penting untuk memastikan bahwa pekerjaan tidak hanya memenuhi standar kualitas, tetapi juga memenuhi semua persyaratan yang ditetapkan. Oleh karena itu, kesadaran akan pentingnya satuan pengukuran yang akurat menjadi kunci dalam memastikan keberhasilan dan keberlanjutan setiap proyek konstruksi. Analisis Harga Satuan Dasar adalah proses memeriksa komponen-komponen harga satuan dasar, yang terdiri dari komponen harga satuan dasar tenaga kerja, harga satuan dasar bahan, dan harga satuan dasar peralatan. Menurut pedoman yang dikeluarkan oleh Kementerian Pekerjaan Umum, terdapat langkah-langkah tertentu yang harus diikuti untuk menentukan harga satuan dasar dan harga satuan pekerja.:
1. Proses perhitungan untuk menetapkan harga satuan alat melibatkan langkah-langkah berikut :
 - Melakukan analisis terhadap setiap gaji atau upah operator alat berat
 - Mendapatkan pemahaman mendetail mengenai alat, umur alat, jam kerja, kemampuan suatu alat dan harga alat

- Menghitung biaya yg terkait termasuk biaya alat, biaya pelaksanaan, biaya yang ditetapkan, biaya aktivitas alat. Semua biaya ini harus diperhitungkan agar tercipta rencana anggaran biaya yang sesuai.
2. Proses perhitungan harga satuan tenaga kerja melibatkan Langkah-langkah sebagai berikut :
- Menentukan jenis kualifikasi tenaga kerja sesuai dengan passion, mulai dari kepala tukang, tukang dan juga mandor.
 - Mengetahui harga satuan sesuai dengan ketetapan pemerintah daerah pelaksanaan suatu proyek dilaksanakan
 - Mengkalkulasikan kebutuhan tenaga kerja yang dari luar daerah dengan memperkirakan perhitungan harga tempat tinggal, konsumsi dan juga transport
 - Menganalisis biaya pekerja secara perjam tiap-tiap orang
 - Harga rata-rata upah tenaga kerja harus sama dengan UMR daerah dimana proyek dilaksanakan sesuai dengan ketetapan Kementerian Pekerjaan Umum
3. Proses menghitung harga satuan bahan melibatkan Langkah-langkah berikut :
- Memerlukan harga dasar bahan atau material, termasuk anggaran yang harus dikeluarkan untuk transportasi,
 - Menghitung kemampuan produksi bisa secara perjam, menggunakan teknik input data alat.