

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bandar Udara

2.1.1 Pengertian Bandar Udara

(Menurut Menhub Nomor PM 39 : 2019) Tentang Penerbangan, Bandar Udara merupakan kawasan yang berada di daratan atau perairan dan memiliki batas tertentu ditujukan sebagai tempat pesawat melakukan kegiatan lepas landas, naik turun penumpang, bongkar muat barang, dan tempat bagi intra dan antarmoda transportasi untuk melakukan rotasi, dilengkapi dengan fasilitas keselamatan juga keamanan penerbangan, beserta fasilitas pokok dan fasilitas penunjang lainnya.

(Lebih lanjut, Horrrojef 2010 : 3) menjelaskan bahwa bandar udara atau *airport* adalah suatu fasilitas yang memiliki fungsi agar pesawat terbang dan *helicopter* dapat melakukan lepas landas atau mendarat. Suatu bandara umumnya memiliki paling tidak sebuah landasan pacu atau *helipad* (untuk pendaratan *helicopter*), sedangkan untuk bandara yang berukuran lebih besar biasanya memiliki dengan fasilitas lain yang lebih baik atau lengkap berupa operator layanan penerbangan, bangunan terminal dan hangar bagi penggunaannya.

(Dalam definisi Basuki 1986 : 95) Transportasi udara adalah kegiatan pemindahan orang dan barang melalui pesawat udara. Kecepatan tinggi dan jumlah barang dan armada yang relatif kecil memberikan identitas unik pada perjalanan udara. Pergerakan lalu lintas ruang terbuka harus didukung oleh peralatan terancang armada serta sarana prasarana di darat, seperti lokal, regional, dan lain-lain.

Penerbangan, (menurut Rosyidi & Adly 2020 : 3) adalah satu kesatuan system yang terdiri dari pemanfaatan wilayah udara, pesawat udara, bandar udara, angkutan udara, navigasi penerbangan, keselamatan dan keamanan, lingkungan hidup serta fasilitas penunjang dan fasilitas umum lainnya. Penerbangan diselenggarakan dengan mewujudkan penyelenggaraan penerbangan yang tertib, memperlancar arus perpindahan orang dan barang melalui udara dengan melindungi angkutan udara untuk memperlancar kegiatan perekonomian.

2.1.2 Klasifikasi Bandar Udara

(Menurut horonjeff, 2010 : 175) untuk menetapkan standar desain geometris dari berbagai jenis bandara dan fungsi yang mereka layani, surat dan kode numerik dan deskriptor lainnya telah diadopsi mengklasifikasikan bandara. Kode referensi bandara adalah sistem pengkodean yang digunakan untuk menghubungkan kriteria desain bandara dengan operasional dan fisik, karakteristik pesawat yang dimaksudkan untuk beroperasi di bandar udara. *Airplane Design Group* (ADG) adalah pengelompokan berdasarkan pesawat terbang lebar sayap atau tinggi ekor.

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, 2010:175)

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, 2010:175)

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, 2010:176)

2.2 Karakteristik Pesawat

(Menurut Mahyudin, 2021 : 22) Sebelum merencanakan pengembangan sisi udara sebaiknya harus mengetahui karakteristik pesawat rencana terlebih dahulu, karakteristik pesawat rencana dibagi menjadi

a. *Weight*

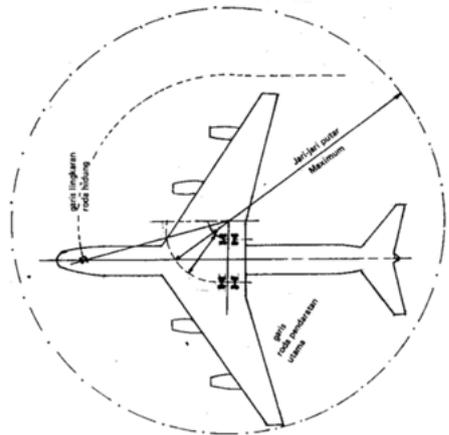
Berat pesawat merupakan tolak ukur beban maksimal yang dapat diterima oleh permukaan perkerasan, mempengaruhi tebal perkerasan yang akan direncanakan pada *runway*, *taxiway* dan juga *apron*.

b. Dimensi pesawat

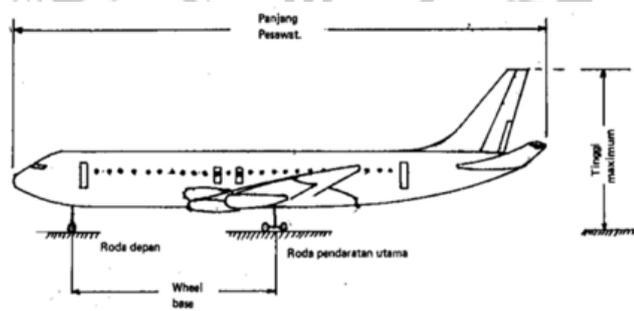
Dimensi pesawat ini mencakup lebar sayap, panjang badan pesawat, tinggi pesawat, panjang as roda depan sampai as roda utama, jari-jari minimum yang dapat dijangkap pesawat saat melakukan belokan di permukaan perkerasan yang ada di bandara.

c. Panjang *runway*

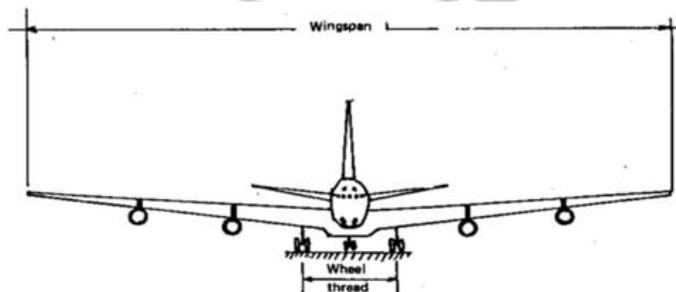
Panjang *runway* juga mempengaruhi untuk kebutuhan luas tanah suatu bandara yang akan dikembangkan. Kebutuhan tiap pesawat tentang panjang landas pacu minimum berbeda beda, oleh karena itu panjang *runway* sangat berpengaruh dengan karakteristik pesawat rencana.



Gambar 2.1 Radius Putar Pesawat
(Sumber : Mahyuddin, dkk 2021:23)



Gambar 2.2 Tampak Samping Pesawat Terbang
(Sumber : Mahyuddin, dkk 2021:23)



Gambar 2.3 Tampak Depan Pesawat Terbang
(Sumber : Mahyuddin, dkk 2021:23)

2.2.1 Konfigurasi Roda Pendaratan pada Pesawat

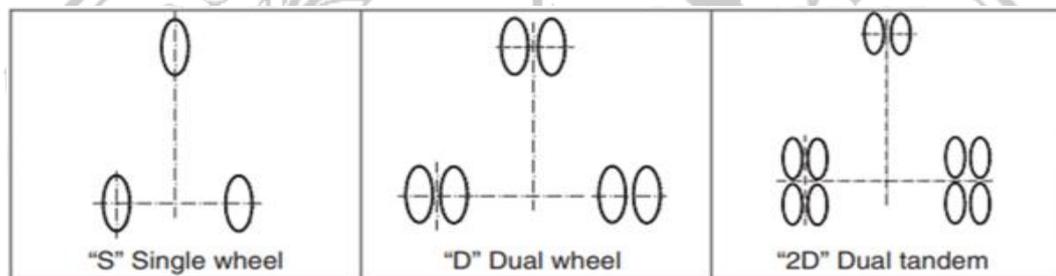
(Menurut horonjeff , 2010 : 59) Pesawat yang saat ini beroperasi di bandara penggunaan sipil dunia memiliki telah dirancang dengan berbagai konfigurasi roda pendaratannya. Baling pesawat didesain dengan salah satu dari tiga pengaturan dasar roda pendaratan, yaitu konfigurasi roda tunggal, yang diartikan sebagai roda utama dengan total dua roda, satu pada setiap kedudukan, konfigurasi dua roda, yang dijelaskan sebagai roda utama dengan total empat roda, dengan masing-masing dua roda penyangga, dan konfigurasi dual tandem, yang diartikan sebagai dua roda terpasang pada setiap penyangga.

Tabel 2.4 Radius Putar Minimum untuk Pesawat Penumpang Biasa

aircraft	Max.steering Angle,deg	Radius .ft		
		wingtips	Nose	tall
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
A-320	78	71	79.5	80
B 757-200	70	72.2	60	71.9
A-310	65	92	84	91
A 300-600	65	98	75.6	94.9
B 747-200	65	112	92	97
B 767-300	70	116.3	96.1	108.3
DC 10-30	68	118.2	104	100.7
MD-11	70	121.4	113.7	102
B 767-400	65	129.4	108.2	119.5
A340	78	130.6	109.9	120.4
		132	125	142

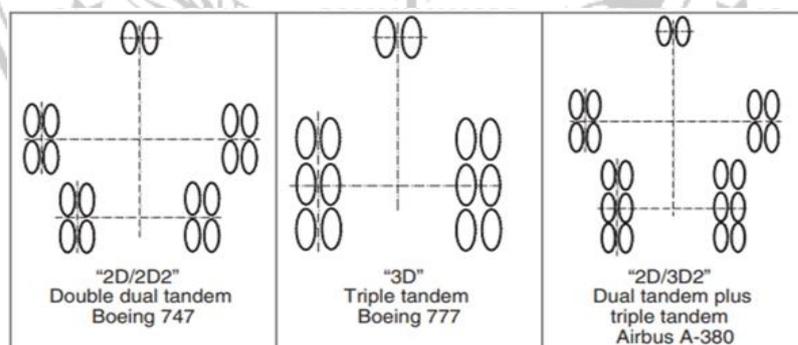
(Sumber : horonjeff, 2010:60)

Konfigurasi pendaratan layanan komersial terbesar pesawat telah menjadi lebih kompleks daripada konfigurasi sederhana. Misalnya, Boeing 747, Boeing 777, kompleksitas konfigurasi pendaratan mendorong FAA untuk mengadopsi konvensi penamaan standar untuk konfigurasi roda pendaratan pesawat. Konfigurasi roda pendaratan memainkan peran penting dalam mendistribusikan berat sebuah pesawat di tanah yang didudukinya, dan dengan demikian pada gilirannya dampak yang signifikan pada desain perkerasan lapangan terbang. Terutama, peningkatan jumlah roda pada roda yang terpasang menyebabkan peningkatan berat pesawat, sementara pesawat masih menerima gaya ini di jalan raya, *taxiway*, atau landasan pacu dari permukaan yang diberikan (Sumber : Horonjeff , 2010 : 61).



Gambar 2.4 Konfigurasi Dasar Roda Pesawat

(Sumber : Horonjeff, 2010 : 60)



Gambar 2.5 Konfigurasi Kompleks Roda Pesawat

(Sumber : Horonjeff, 2010 : 60)

2.2.2 Komponen Berat Pesawat

Terdapat komponen dasar berat pesawat yang terkait dengan berat pesawat yang perlu diketahui oleh perencana bandar udara. Komponen dasar berat pesawat ini adalah kondisi berat yang diijinkan untuk melakukan manuever pergerakan di darat, penerbangan (*take off*) dan pendarat (*landing*). Komponen ini juga akan mempengaruhi secara langsung ukuran dasar panjang *runway* yang diperlukan oleh pesawat tersebut (Sumber : Rosyidi & Adly, 2020 : 85).

a. *Operating Empty Weight (OEW)*

OEW (berat kosong operasi) merupakan berat dasar pesawat yang termasuk didalamnya krew (pilot, teknisi, pramugari) pesawat dan semua berat pesawat yang ada dalam kondisi yang siap terbang kecuali *payload* (berat muatan) dan *fuel* (bahan bakar).

b. *Pay Load*

Payload (berat muatan terbayar) merupakan total pendapatan yang diperoleh maskapai penerbangan, yang mengakibatkan adanya beban (*load*). Berat muatan yang terbayar termasuk didalamnya penumpang, surat, express dan kargo. Berat muatan terbayar maksimum ditentukan oleh pihak regulator penerbangan terkait yang mengijinkan pesawat membawa penumpang, barang atau kombinasi dari keduanya.

c. *Zero-fuel Weight*

Zero-fuel Weight merupakan berat pesawat dengan bahan bakar kosong yang terdiri dari berat kosong operasi (OEW), maximum *payload* dan segala sesuatunya yang terkait dengan tambahan bahan bakar pesawat dimana ketika pesawat terbang tidak melebihi kemampuan bending momen pesawat (titik pertemuan di sayap pesawat dan panjang badan pesawat) ketika melakukan penerbangan.

d. *Maximum Ramp Weight*

Maximum Ramp Weight adalah berat maksimum pesawat yang diijinkan untuk pergerakan di darat atau pergerakan diantara apron menuju ke ujung landasan pacu yang dibatasi oleh kekuatan pesawat dan persyaratan ukuran penerbangan.

e. *Maximum Structural Take-off Weight (MSTOW)*

Maximum Structural Take-off Weight adalah berat maksimum struktur pesawat yang diijinkan untuk memulai penerbangan (*take-off*) yang dibatasi oleh kekuatan pesawat dan persyaratan ukuran penerbangan.

f. *Maximum Structural Landing Weight (MSLW)*

Maximum Structural Landing Weight adalah berat maksimum struktur pesawat yang diijinkan untuk memulai pendaratan (ketika menyentuh landasan) yang dibatasi oleh kekuatan pesawat dan persyaratan ukuran penerbangan.

2.2.3 Pengaruh Kemampuan Pesawat pada Runway dalam Perencanaan Geometrik

Kinerja pesawat juga ditentukan dengan beberapa jenis kecepatan ketika pesawat melakukan manuver atau pergerakan yang aman untuk lepas landas, mendaki (*cruise*), bermaneuver, dan pergerakan mendekati (*approach*) ke darat. Kecepatan ini didefinisikan dalam manual kerja pesawat sebagai kecepatan *V-Speed* (Sumber Rosyidi & Adly, 2020 : 93).

a. Kecepatan awal untuk mendaki *Initial Climb Out Speed*

Untuk melakukan manuver pemanjangan saat mendaki (*Initial Climb Out Speed*) adalah kecepatan minimum dimana pilot diizinkan memulai pemanjangan setekah pesawat mencapai ketinggian 10,4 meter diatas permukaan *runway*.

b. Kecepatan putusan (*Decision Speed*)

Ditentukan ketika mesin mengalami kegagalan sebelum mencapai kecepatan V_1 . Jika kegagalan mesin terjadi setelah mencapai V_1 , pilot harus melanjutkan penerbangan tanpa berhenti atau mengurangi kecepatan.

c. Kecepatan Rotasi, kecepatan di mana pilot mulai mengangkat hidung pesawat untuk lepas landas dengan menarik handle ke belakang.

d. Kecepatan Angkat, kecepatan di mana pesawat mulai terangkat dari landasan, bergantung pada kemampuan pesawat.

Tabel 2.5 Karakteristik Pesawat Udara (lanjutan)

Jenis pesawat	Ref code	Karakteristik pesawat					
		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	13988	
Dornier-328-300	2B	1088	21		21.3	13988	
ATR 42-500	2C	1160	24.6	4.1	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	1150
ATR 72-600	3C	1290	27.05	4.10	27.16	22800	828
Bombardier Global Express	3C	1774	28.7	4.9	30.3	42410	920
Embraer EMB 120	3C	1560	19.78	7.3	20	11500	540
Fokker F100	3C	1820	28.1	5.0	35.5	44450	779
Foker F27-500	3C	1670	29.0	7.9	25.1	20412	552

(Sumber : KP No. 39 Tahun 2015)

Tabel 2.5 Karakteristik Pesawat Udara (lanjutan)

Jenis pesawat	Ref code	Karakteristik pesawat					
		ARFL (m)	Lebar Sayap (m)	OMGWS (m)	Panjang (m)	MTOW (kg)	TP (Kpa)
Fokker F28-4000	3C	1680	25.1	5.8	29.6	32205	779
Fokker F50	3C	1760	29	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
Boeing B737-300	4C	1940	28,9	6,4	33,4	61230	1334
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	.	1006	26,2	-	39,1	40824	1060

(Sumber : KP No. 39 Tahun 2015)

Tabel 2.5 Karakteristik Pesawat Udara (lanjutan)

Jenis pesawat	Ref code	Karakteristik pesawat					
		ARFL (m)	Lebar Sayap (m)	OMGWS (m)	Panjang (m)	MTOW (kg)	TP (Kpa)
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	32,9	6,0	36,4	48988	1050
McDonnell Douglas DC9-80	4c	2553	32,8	6,2	45,1	72575	1390
McDonnell Douglas MD82	4c	2270	32,8	6,2	45,1	67812	1268,6
McDonnell Douglas MD83	4c	2550	32,8	6,2	45,1	72574	1268,6
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

(Sumber : KP No. 39 Tahun 2015)

2.3 Perencanaan Sisi Udara (Air side)

Landasan pacu (*runway*) merupakan jalur pendaratan (*landing*) dan tinggal landas (*take off*) dari pesawat pada area bandara. Terdapat banyak konfigurasi landasan pacu yang dapat diterapkan dalam bandar udara. Adapun beberapa konfigurasi tersebut seperti (Sumber : Mahyudin 2021 : 63).

2.3.1 Konfigurasi Landas Pacu

Konfigurasi landasan pacu mengacu pada jumlah dan relative orientasi satu atau lebih landasan pacu disebuah bandar udara, banyak macam landas pacu yang ada.

a. *Single Runway*

Landasan Pacu Tunggal ini adalah konfigurasi landasan pacu yang paling sederhana. Telah diperkirakan bahwa kapasitas per jam dari satu landasan pacu dalam kondisi VFR antara 50 dan 100 operasi per jam, sedangkan dalam kondisi IFR kapasitas ini dikurangi menjadi 50 hingga 70 operasi per jam, tergantung komposisi campuran pesawat dan alat bantu navigasi tersedia.

b. *Parallel Runways*

Kapasitas sistem landasan pacu paralel tergantung pada jumlahnya landasan pacu dan jarak antar landasan pacu. Dua, tiga, dan empat landasan pacu paralel umum. Jarak antara paralel landasan pacu sangat bervariasi. Untuk keperluan diskusi ini, spasi diklasifikasikan sebagai dekat, menengah, dan jauh, tergantung pada pemisahan garis tengah antara dua landasan pacu paralel.

c. *Intersecting Runways*

Banyak bandara memiliki dua atau lebih landasan pacu dengan arah berbeda yang saling bersilangan. Ini disebut sebagai landasan pacu berpotongan. Persimpangan landasan pacu diperlukan ketika angin yang relatif kuat terjadi dari lebih dari satu arah, sehingga hanya terjadi angin silang yang berlebihan disediakan satu landasan pacu. Saat angin kencang, hanya satu landasan pacu yang berpotongan dapat digunakan, mengurangi kapasitas lapangan terbang secara substansial. Jika angin relatif ringan, kedua jalur lari dapat digunakan secara bersamaan. Kapasitas dua berpotongan landasan pacu tergantung pada lokasi persimpangan (yaitu, di tengah jalan atau dekat ujungnya), cara pengoperasian

landasan pacu lepas landas dan pendaratan, disebut sebagai strategi penggunaan landasan pacu, dan campuran pesawat. Semakin jauh persimpangan dari ujung lepas landas landasan pacu dan ambang pendaratan, semakin rendah kapasitasnya. Kapasitas tertinggi dicapai ketika persimpangan dekat dengan lepas landas

d. *Open-V Runways*

Landasan pacu dalam arah yang berbeda yang tidak berpotongan disebut sebagai landasan pacu V terbuka. memotong landasan pacu, landasan pacu V terbuka kembali ke landasan pacu tunggal, ketika angin kencang dari satu arah. Saat angin ringan, kedua landasan pacu dapat digunakan secara bersamaan. Strategi yang menghasilkan kapasitas tertinggi adalah saat operasi jauh dari V dan ini disebut sebagai pola divergen. Di dalam VFR kapasitas per jam untuk strategi ini berkisar antara 60 hingga 180 operasi per jam, dan dalam IFR kapasitas yang sesuai adalah dari 50 hingga 80 operasi per jam. Ketika operasi menuju V itu disebut sebagai pola konvergen dan kapasitas dikurangi menjadi 50 hingga 100 operasi per jam di VFR dan antara 50 dan 60 operasi per jam dalam IFR.

2.3.2 Karakteristik *Runway*

Tabel berikutnya memberikan persyaratan dari karakteristik landasan pacu. Adapun karakteristik landasan pacu dapat dilihat sebagai berikut (Sumber : Basuki, 1986 : 181).

1. Lebar Perkerasan Structural Landasan

Tabel 2.6 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	30 m	30 m	45 m	-
4	-	-	45 m	45m	45 m

(Sumber : Basuki, 1986:182)

2. Kemiringan Memanjang *Runway*

Tabel 2.7 Kemiringan Memanjang Landas Pacu

kriteria	1	2	3	4
Max.effective slope	1.0	1.0	1.0	1.0
Max longitudinal slope	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 : Basuki, 1986:182)

3. Kemiringan Melintang *Runway*

Tabel 2.8 Kemiringan Melintang *Runway*

Nomor Kode	Kemiringan melintang
A	2%
B	2%
C	1.5%
D	1.5%
E	1.5%

(Sumber : Basuki, 1986:182)

2.3.3 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Panjang Landasan Pacu

(Basuki, 1986 : 35), ARFL adalah landas pacu maximum yang dibutuhkan untuk lepas landas, pada maximum sertifikasi *take off weight*, elevasi muka laut, kondisi standart atmosfir, keadaan tanpa ada angin tertiup, landas pacu tanpa kemiringan yaitu kemiringan sama dengan 0. 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

Pada temperature yang lebih tinggi dibutuhkan landasan yang lebih panjang, menurut ICAO panjang landasan harus dikoreksi terhadap temperatur sebesar 1% untuk setiap kenaikan 1°C maka ICAO merekomendasikan hitungan koreksi temperatur dengan rumus sebagai berikut :

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

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

Ket : F_t = koreksi untuk temperatur

T = suhu bandara

h = elevasi bandara

b. Ketinggian altitude

Ketika terjadi meningkatnya elevasi landas pacu, kerapatan udara akan turun dan mengurangi gaya angkat sayap pesawat, untuk atasi peningkatan elevasi maka dibuat koreksi elevasi dengan kenaikan 7% setiap 300 m diatas permukaan air laut :

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

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

Ket : F_e = koreksi elevasi

H = elevasi bandara

c. Kemiringan landasan (*Runway Gradient*)

Kriteria perencanaan lapangan terbang membatasi kemiringan 1 ½ %. Untuk tujuan perencanaan bandar udara FAA memperkenalkan “*Effektive Gradient*” beda tinggi antara titik tertinggi dan titik terendah dari penampang memanjang landasan dibagi dengan panjang landasan yang ada:

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

Ket :

Fs = koreksi kemiringan bandara

S = gradien efektif runway

d. Menghitung ARFL

Untuk mengetahui seberapa panjang landas pacu minimal yang dibutuhkan oleh pesawat rencana. Adapun persamaan yang dipakai dalam menghitung ARFL :

$$L_a = ARFL \times F_t \times F_e \times F_s$$

Ket :

L_a = panjang rencana landasan pacu

ARFL = panjang landas pacu minimum

F_t = faktor koreksi suhu

F_s = faktor koreksi kemiringan

F_e = faktor koreksi elevasi

2.3.4 Struktur Perkerasan Landas Pacu

Menurut Bassuki (1986:269) Perkerasan berfungsi sebagai tumpuan rata-rata pesawat, permukaan yang rata menghasilkan jalan pesawat yang seimbang, dari fungsinya maka harus dijamin bahwa tiap-tiap lapisan dari atas ke bawah cukup kekerasan dan ketebalannya sehingga tidak mengalami “*Distress*” (perubahan karena tidak mampu menahan beban). Perkerasan fleksibel terdiri dari lapisan *surface coarse*, *base coarse* dan *subbase coarse* semua digelar diatas tanah asli yang dipadatkan disebut dengan *subgrade*.

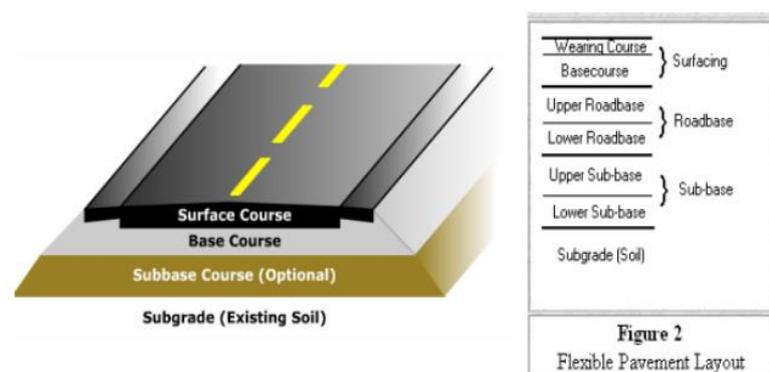
Struktur perkerasan fleksibel terdiri dari beberapa lapisan, seperti *surface course*, *base course*, dan *subbase course*, yang semuanya ditempatkan di atas tanah asli yang telah dipadatkan, yang disebut sebagai *subgrade*. Sistem perkerasan fleksibel melibatkan penggunaan aspal pada lapisan permukaan yang ditempatkan di atas *base course*, dan bila diperlukan sesuai kondisi tanah dasar, *subbase* (Sumber : Basuki, 1986 : 269).

Seluruh struktur perkerasan fleksibel pada akhirnya didukung oleh tanah dasar. *Surface course* mencegah air permukaan meresap ke lapisan dasar, memberikan ikatan yang halus dan efektif tanpa adanya partikel yang lepas,

menanggung tegangan geser yang dihasilkan oleh beban pesawat, serta memberikan tekstur yang berkualitas tanpa menyebabkan keausan ban yang tidak seharusnya. Selain itu, jalur juga harus tahan terhadap tumpahan bahan bakar dan pelarut lainnya di daerah di mana pemeliharaan mungkin terjadi (Sumber : Basuki, 1986 : 269).

Surface adalah elemen struktural utama perkerasan yang memiliki fungsi mendistribusikan beban roda ke *sub base* dan tanah dasar. *Surface* harus dirancang untuk mencegah kegagalan di tanah dasar, menahan tegangan yang dihasilkan pada *base course*, menahan vertikal tekanan yang cenderung menghasilkan konsolidasi dan deformasi memakai saja dan menahan perubahan volume yang disebabkan oleh fluktuasi kandungan kelembabannya (Sumber : Basuki, 1986 : 270).

Fungsi *Subbase*, bila diperlukan, mirip dengan *base course*, tapi karena *sub base* lebih lanjut dihapus dari area aplikasi beban, mengalami intensitas tegangan yang lebih rendah. *Subbase* biasanya diperlukan ketika perkerasan lentur harus ditopang oleh tanah dengan nilai CBR kurang dari 20. *Subbase course* perkerasan *fleksibel* tersedia dalam berbagai jenis (Sumber : Basuki, 1986 : 271).



Gambar 2.6 Struktur Perkerasan fleksibel

2.4 Metode Perencanaan Perkerasan Lapangan Terbang

Menurut Horronjeff (2010 : 273) sebelum tahun 2008, metode standar FAA untuk perkerasan lentur desain dikenal sebagai metode CBR. Metode CBR didasarkan pada grafik perkiraan yang memperhitungkan nilai CBR dari tanah dasar dan jumlah dan berat kotor keberangkatan tahunan yang setara dari pesawat desain. Bagan aproksimasi terpisah disediakan oleh FAA untuk konfigurasi roda

pendaratan pesawat umum yang berbeda, dan untuk pesawat dengan berat kotor maksimum lebih dari 300.000 lb. berat, pesawat individu tertentu.

Menurut Basuki (1986:271) Beberapa pendekatan digunakan dalam perencanaan perkerasan lapangan terbang, walaupun tidak diakui sebagai standar oleh lembaga-lembaga penerbangan internasional seperti ICAO. Beberapa metode tersebut melibatkan :

2.4.1 Metode FAA

Menurut Rosyidi & Adly (2020:212), klasifikasi tanah metode FAA disebut juga metode Amerika dan merupakan metode analisis statistik perbandingan dari berbagai jenis tanah, sistem drainase dan cara pembebanan untuk berbagai tingkat beban. Metode FAA telah membuat klasifikasi tanah dasar untuk perencanaan perkerasan menjadi 13 kelas yaitu dari grup E1 sampai grup E13. Klasifikasi tanah tersebut didasarkan pada hal-hal dibawah ini yaitu :

- a. Butiran yang tertahan pada saringan No.10.
- b. Butiran yang lewat saringan No.10 tetapi tertahan No.40.
- c. Butiran yang lewat saringan No.40 tetapi tertahan No.200.
- d. Butiran yang lewat saringan No.200.
- e. Batas cair (*liquid limit*)
- f. Index Plastisitas

Klasifikasi tanah tersebut hanya membutuhkan analisis mekanis (analisis saringan) serta penentuan batas cair dan index plastisitas tanah, namun demikian untuk menentukan baik buruknya jenis tanah, maka perlu diadakan pengujian lapangan terutama yang berhubungan topografi, jenis lapisan tanah, evaluasi air tanah, yang berpengaruh besar terhadap sistem drainase dan kemampuan melewati air permukaan. Ukuran kekuatan tanah dasar dan kualitas bahan yang digunakan untuk perhitungan ketebalan perkerasan menurut metode FAA dinyatakan dalam nilai CBR. Hubungan antara nilai CBR tanah dasar dengan klasifikasi tanah menurut FAA yaitu :

Tabel 2.9 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 : Rosyidi & Adly ,2020 :213)

Kemudian menentukan pesawat rencana yang bebannya mempunyai hasil ketebalan perkerasan paling besar, disitulah kemudian dikonversikan menjadi pesawat rencana beserta *Equivalent Annual Departure* dari pesawat itu dengan menggunakan rumus :

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

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

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

Tipe pesawat yang memiliki ukuran badan yang lebar diperkirakan sekitar 300.000 lbs beserta roda pendaratan dual tandem untuk perhitungan *equivalent annual departure* roda pendaratan pesawat juga mempunyai jenis yang beda maka harus dikonversikan (Sumber : Rosyidi & Adly, 2020 : 217).

Tabel 2.10 Konversi Roda Pendaratan

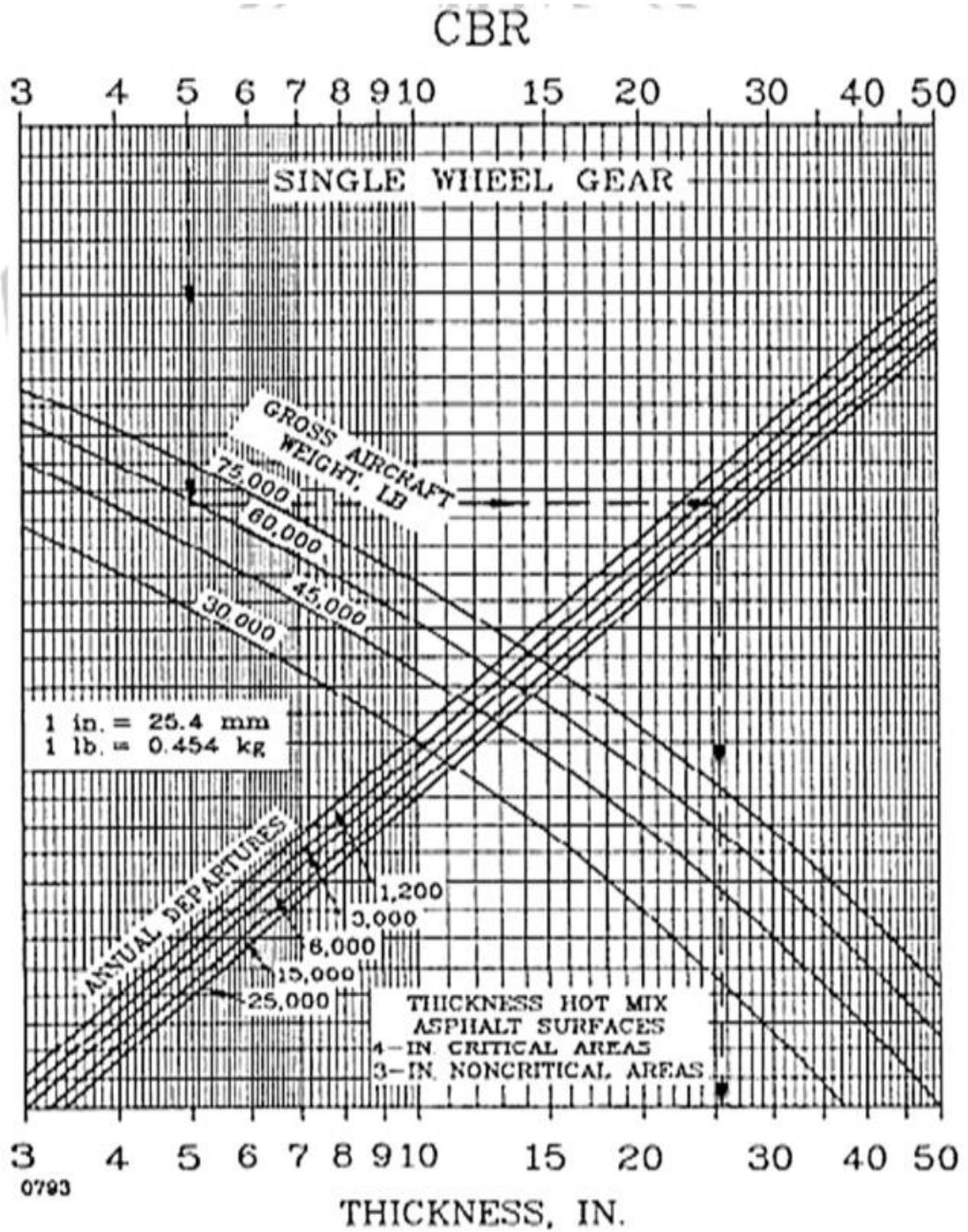
Konversi dari	ke	Faktor pengkali
Single wheel	Dual wheel	0.8
Single wheel	Dual tandem	0.5
Dual wheel	Dual tandem	0.6
Double dual tandem	Dual tandem	1.00
Dual tandem	Single wheel	2.00
Dual tandem	Dual wheel	1.70
Dual Wheel	Single wheel	1.30
Double DuaTandem	Dual wheel	1.70

(Sumber :Rosyidi & Adly, 2020 : 218)

2.4.2 Grafik FAA untuk Perencanaan Perkerasan Lentur

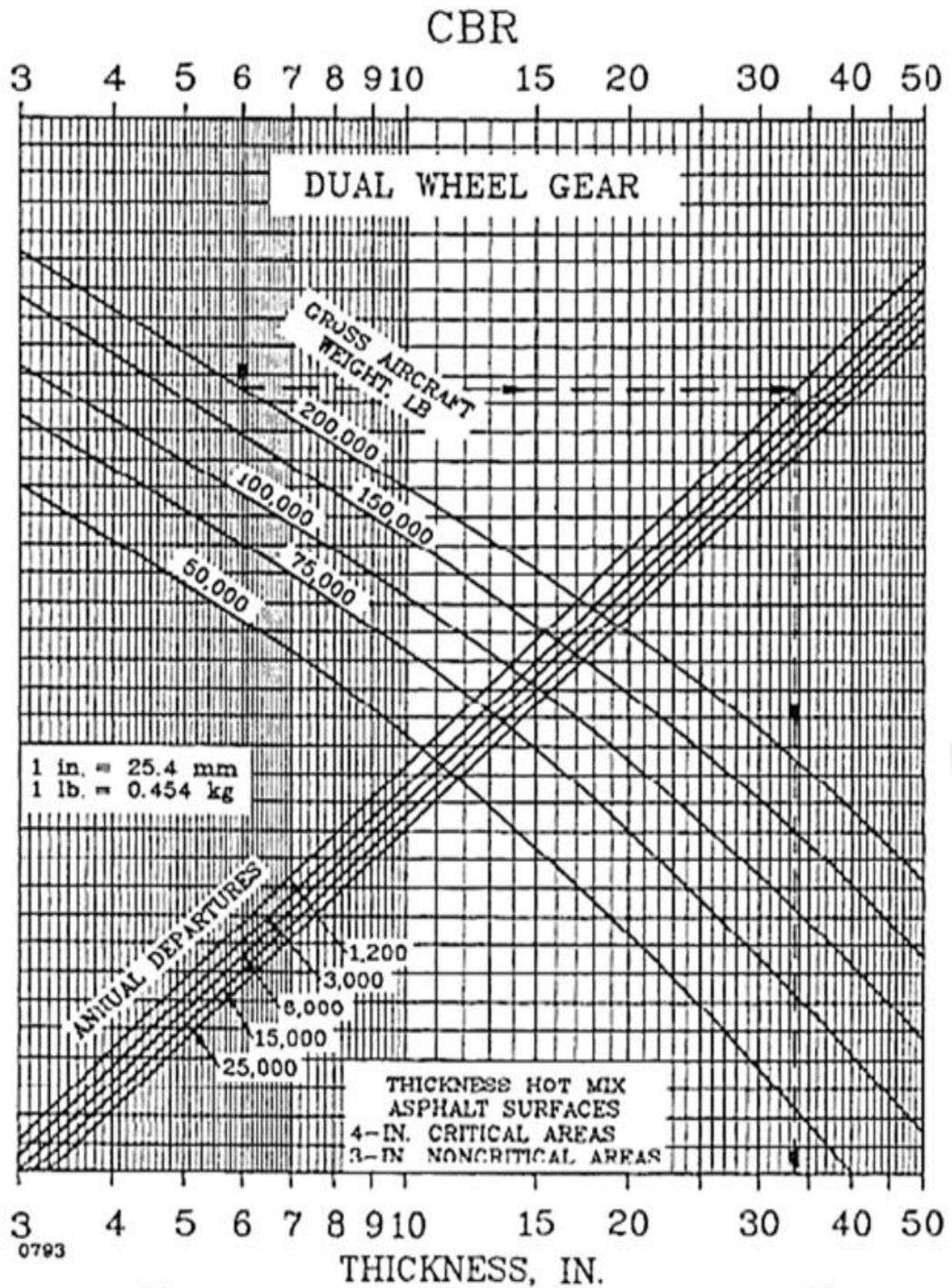
Perencanaan menggunakan metode FAA menggunakan grafik perencanaan perkerasan berdasarkan referensi *corp of engineer*, yang diadopsi dari metode CBR yang telah terbukti. Metode desain CBR merupakan metode empiris yang diperoleh dari penelitian dan langkah-langkah korelasi sehingga diperoleh hubungan yang realistik. Input desain berupa berat pesawat terbang dan konfigurasi roda pendaratan yang dibangun dari kajian empiris dan teori. Perhitungannya menggunakan grafik FAA dapat dipakai untuk umur perencanaan hingga 20 tahun tanpa perlu perbaikan besar dengan pengecualian perubahan lalu lintas pesawat (Sumber : Basuki, 1986:303).

Penggunaan grafik ini membutuhkan nilai CBR *subbase, subgrade*, MTOW pesawat rencana dan juga *equivalent annual departure* pesawat rencana lalu diaplikasikan menggunakan kurva pada grafik agar menemukan tebal total perkerasan yang akan dibutuhkan. Pada metode ini, konfigurasi roda pesawat yang dilayani harus dikonversi roda pesawat rencana yang akan beroperasi, namun dalam penelitian ini semua roda berkonfigurasi *dual wheel* sehingga hasil konversi tetap karena faktor konversi satu. Jadi pada metode ini yang menjadi penentu adalah jenis pesawat dengan MTOW terbesar yang akan menghasilkan tebal perkerasan terbesar (Sumber : Basuki, 1986:303).



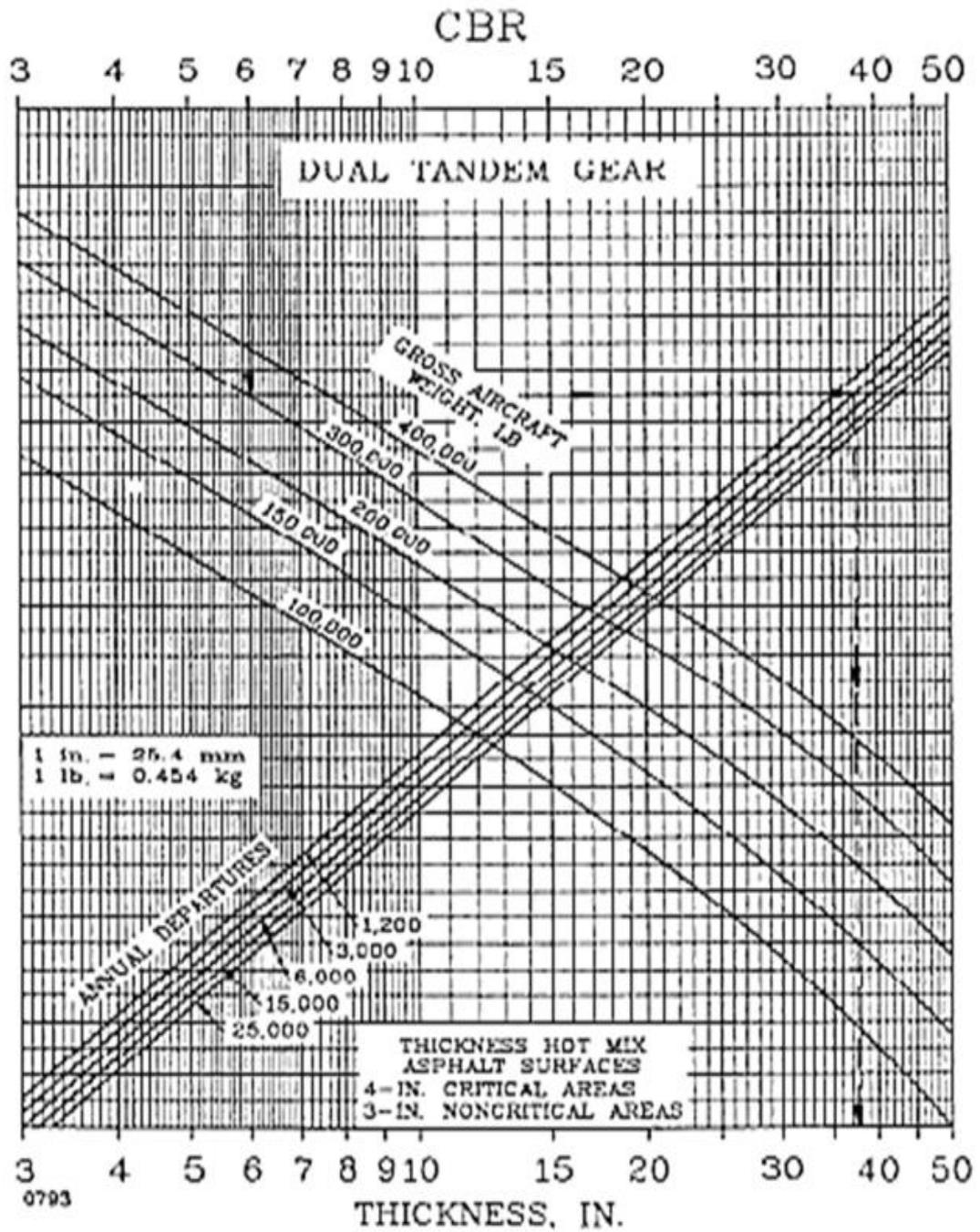
Gambar 2.7 Grafik Perencanaan Perkerasan Lentur untuk *Single Wheel*

(Sumber : Rosyidi & Adly, 2020:221)



Gambar 2.8 Grafik Perencanaan Perkerasan Lentur untuk *Dual Wheel*

(Sumber : Rosyidi & Adly, 2020:222)

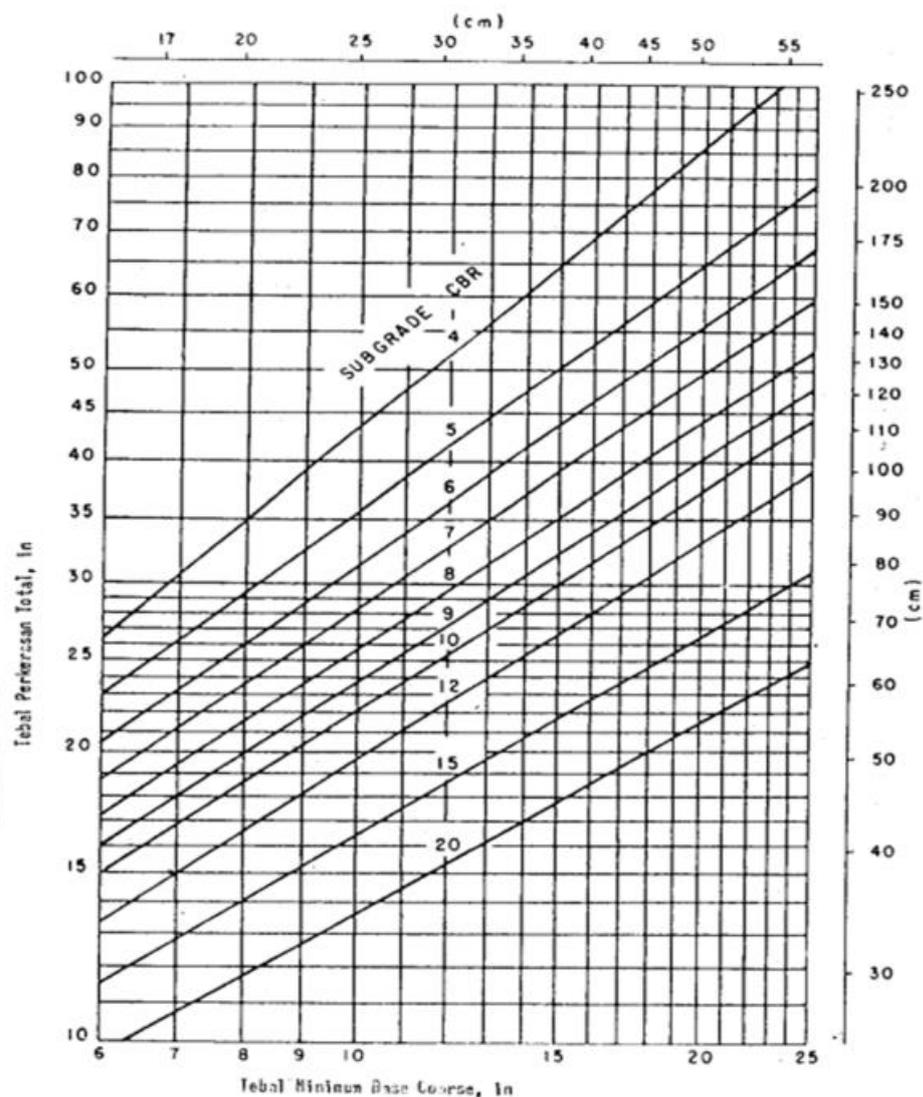


Gambar 2.9 Grafik Perencanaan Perkerasan Lentur untuk *Dual Tandem*

(Sumber : Rosyidi & Adly, 2020:223)

2.4.3 Menentukan Tebal *Base Course*

Menentukan ketebalan *Base Course* melibatkan pengurangan total ketebalan perkerasan dari hasil perhitungan ketebalan *subbase* dan ketebalan *surface*. Kemudian, ketebalan yang diperoleh diperiksa dengan membandingkannya dengan ketebalan minimal *Base Course* dari grafik. Jika hasil ketebalan minimal *Base Course* dari grafik lebih besar daripada hasil perhitungan atau analisis ketebalan *Base Course*, selisihnya diambil dari lapisan *subbase course* sehingga mengubah ketebalan *subbase course* (Sumber : Rosyidi & Adly, 2020:230).



Gambar 2.10 Grafik Perencanaan Tebal *Base Course*

(Sumber : Rosyidi & Adly, 2020:230)

2.4.4 Metode CBR

Mengenai tahap-tahap dari merencanakan tebal perkerasan fleksible menggunakan metode CBR sebagai berikut (Sumber : Mahyudin, 2021:113) :

- a. Menyiapkan tanah dasar untuk tes CBR dalam laboratorium
- b. Menentukan nilai *equivalent single wheel load* berupa bobot roda tunggal dalam menentukan ESWL didasari tegangan vertikal 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 :

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

- e. Menghitung tebal total perkerasan menggunakan rumus

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

Ket :
 t = tebal perkerasan yang dibutuhkan
 ESWL = beban pesawat yang dipikul roda
 P = tekanan udara terhadap roda (psi)

2.5 Rencana Anggaran Biaya

Estimasi biaya dapat dilakukan dengan dua pendekatan, yaitu pendekatan umum dan pendekatan rinci. Pendekatan rinci digunakan untuk memahami biaya keseluruhan suatu pekerjaan secara terperinci. Biasanya, pendekatan ini digunakan saat menyusun dokumen penawaran untuk proyek dan akan diajukan pada tahap tertentu saat pelelangan. Berikut merupakan cara yang harus dilakukan untuk merencanakan suatu estimasi mendetail (Sumber : Agus B, 2019:39).

1. Membuat *Work Breakdown Structure*
2. Membuat *Bill Of Quantity*
3. Menentukan metode pelaksanaan
4. Menghitung produktivitas alat dan peker

5. Membuat Analisa Harga Satuan
6. Membuat Rencana Anggaran Biaya

(Menurut Agus B, 2019:39) Konsep penyusunan Rencana Anggaran Biaya proyek, pada pelaksanaannya didasarkan pada sebuah analisa masing masing komponen penyusun (material, upah, dan peralatan) hasil analisa komponen itu pada akhirnya akan menghasilkan HSP (Harga Satuan Pekerjaan). Kegunaan RAB antara lain sebagai rincian item harga penawaran yang dibuat kontraktor dalam menawar pekerjaan suatu proyek.

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

Adapun penjelasan komponen penyusun RAB sebagai berikut :

1. Komponen biaya langsung (*Direct Cost*)
 - a. Biaya bahan/material: harga bahan yang digunakan untuk proses pelaksanaan konstruksi.
 - b. Upah tenaga kerja: biaya yang dibayarkan kepada pekerja sesuai keahliannya.
 - c. Biaya peralatan: diperlukan untuk kegiatan sewa, memindahkan dan membongkar.
2. Komponen biaya tidak langsung (*Indirect Cost*)
 - a. *Overhead* umum: sewa kantor, peralatan kantor.
 - b. *Overhead* proyek: biaya yang dapat dibebankan kepada proyek tetapi tidak dapat dibebankan kepada biaya bahan-bahan, upah kerja.
 - c. Profit: keuntungan yang didapat oleh pelaksana kegiatan sebagai nilai imbal jasa.
 - d. Pajak: berbagai macam pajak seperti PPN, PPh dan lainnya atas hasil operasi perusahaan.

2.5.1 Unsur-Unsur Rencana Anggaran Biaya

Dalam melaksanakan perencanaan anggaran biaya ada sebaiknya mengetahui berupa unsur-unsur penyusun yang ada dalam perencanaan anggaran biaya (Sumber : Agus B. Siswanto, 2019:39) :

- a. Volume pekerjaan. Dapat dihitung dengan menilai objek yang ada pada gambar kerja atau dengan menghitung langsung di lokasi pekerjaan di lapangan. Tanpa satuan ukur, pekerjaan tidak akan memenuhi persyaratan dan tidak akan memiliki arti, dan akan mempengaruhi hasil analisis biaya pekerjaan.
- b. Analisis Harga Satuan Dasar melibatkan elemen-elemen harga satuan dasar, yang terdiri dari harga satuan dasar tenaga kerja, harga satuan dasar bahan, dan harga satuan dasar peralatan. Kementerian Pekerjaan Umum menyajikan langkah-langkah untuk menentukan harga satuan dasar dan harga satuan pekerja, yaitu :
 1. Tahap perhitungan menentukan harga satuan alat :
 - Membutuhkan data gaji atau upah operator alat berat.
 - Menyelidiki secara rinci tentang alat, termasuk usia alat, jam kerja, kemampuan alat dan harga alat.
 - Biaya yang diperlukan mencakup biaya alat, biaya yang telah ditetapkan, biaya aktivitas alat, dan biaya pelaksanaan. Semua biaya ini perlu dihitung dan dipertimbangkan dengan baik agar dapat menyusun rencana anggaran biaya yang akurat.
 2. Tahap perhitungan harga satuan tenaga kerja melibatkan :
 - Penentuan kualifikasi tenaga kerja, mulai dari kepala tukang, tukang, hingga mandor.
 - Pemahaman tentang harga satuan yang telah ditetapkan oleh pemerintah daerah tempat proyek dilaksanakan.
 - Perkiraan kebutuhan tenaga kerja dari luar daerah dengan mempertimbangkan perhitungan biaya tempat tinggal, konsumsi, dan transportasi.
 - Analisis biaya pekerja per jam untuk setiap individu.
 - Penentuan harga rata-rata biaya per jam untuk upah setiap pekerja.

- Harga rata-rata upah tenaga kerja harus sejalan dengan Upah Minimum Regional (UMR) di daerah tempat proyek dilaksanakan sesuai dengan ketentuan Kementerian Pekerjaan Umum.

3. Tahap perhitungan harga satuan bahan :

- Memerlukan pengetahuan harga satuan dasar suatu bahan atau material, yang juga mencakup estimasi anggaran untuk transportasi.
- Menghitung kapasitas produksi perjam dengan menggunakan teknik input data alat dan efisiensi alat tersebut.
- Menganalisis biaya satuan dasar bahan yang digunakan, yang melibatkan bahan baku seperti batu, pasir dan sejenisnya, serta material hasil produksi seperti agregat kasar, agregat halus, dan sebagainya.

