BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bandar Udara

2.1.1 Pengertian Bandar Udara

Menurut ketetapan yang telah diatur dalam Undang-Undang Nomor 1 tahun 2009 tentang Bandar Udara, bandar udara diartikan sebagai area di darat atau air yang mempunyai batasan tertentu yang digunakan untuk keperluan pendaratan dan lepas landas pesawat udara, kegiatan naik-turun penumpang, pengangkutan dan pemindahan barang, serta sebagai sarana transportasi intra dan antarmoda. Bandar udara juga dilengkapi dengan berbagai fasilitas keselamatan dan keamanan selama penerbangan serta fasilitas yang diperlukan selama operasional penerbangan.

Pada tahun 1996, jumlah bandar udara mencapai sekitar 179. PT (persero) Angkasa Pura I bertanggung jawab atas pengelolaan 179 bandar udara, sementara PT (persero) Angkasa Pura II mengelola 9 bandar udara. Kedua perusahaan ini adalah Badan Usaha Milik Negara (BUMN) yang berada di bawah naungan Departemen Perhubungan. Ada juga bandar udara khusus yang dikelola oleh Direktorat Jenderal Perhubungan Udara, sementara bandar udara non-kelas diurus oleh pemerintah daerah setempat, terutama di wilayah Papua.

Di area aerodrome, terdapat berbagai fasilitas utama dengan satu sebutan kawasan pergerakan dan dibagi menjadi:

1. Runway (landasan pacu) adalah wilayah yang memiliki fungsi untuk take-off dan landing pesawat terbang yang sedang beroperasi.
2. Taxiway (Landasan Hubung) adalah jalur yang menghubungkan apron dan runway. Jalur ini juga memiliki fungsi penting sebagai jalan untuk pesawat masuk dan keluar dari runway ke terminal dan sebaliknya.
3. Apron adalah fasilitas parkir yang terletak di antara gedung terminal dan taxiway, berfungsi untuk parkir suatu pesawat udara agar dapat dengan cepat memuat dan menurunkan penumpang. Luas apron dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk karakteristik manuver pesawat, volume lalu lintas apron, dan kebutuhan ruang kosong.

2.1.2 Klasifikasi Bandar Udara

(Menurut horonjeff ,2015 :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 operational 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

Sebelum merencanakan pengembangan sisi udara sebaiknya harus mengetahui karakteristik pesawat rencana terlebih dahulu ,karakteristik pesawat rencana dibagi menjadi :

a. Weight

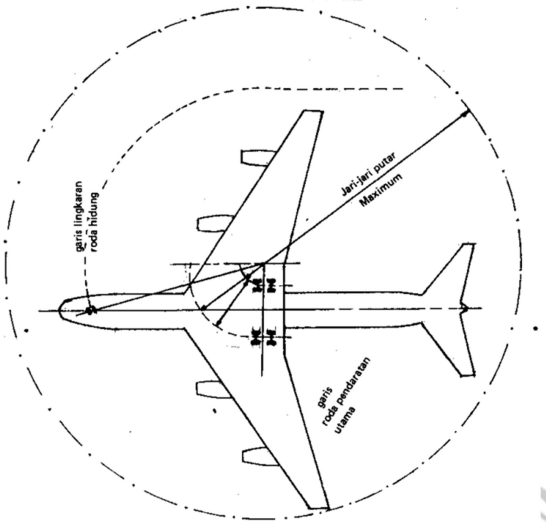
   Berat pesawat tolak ukur beban maksimal yang dapat diterima oleh permukaan perkerasan, berat pesawat sangat berpengaruh terhadap tebal perkerasan yang akan direncanakan pada runway, taxiway, dan apron.

b. Dimensi pesawat

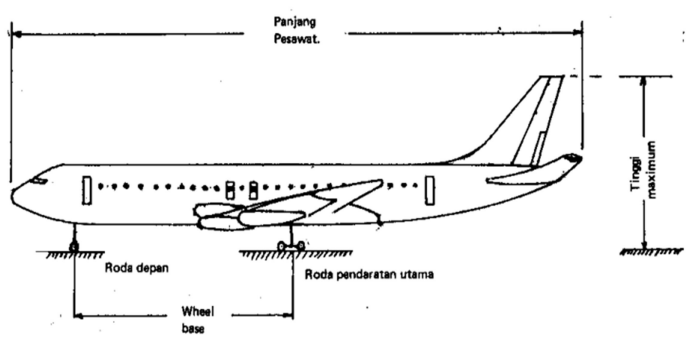
   Dimensi pesawat ini mencakup lebar sayap pada pesawat ,panjang badan pesawat,tinggi pesawat,panjang as roda depan sampai as roda utama, radius minimum yang mampu dijangkau pesawat saat melakukan belokan di permukaan perkerasan yang ada di bandara

c. Panjang runway

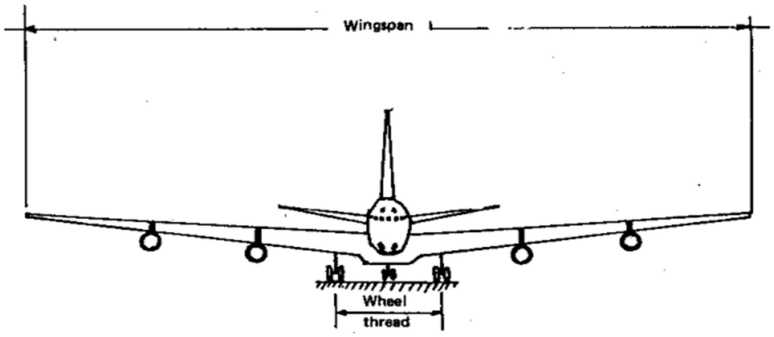
   Panjang runway ini juga sangat mempengaruhi untuk kebutuhan luas tanah suatu bandara yang akan dikembangkan .kebutuhan tiap pesawat tentang panjang landas pacu minimum berbeda beda, oleh karena itu panjang runway sangat berpengaruh dengan karakteristik pesawat rencana.



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

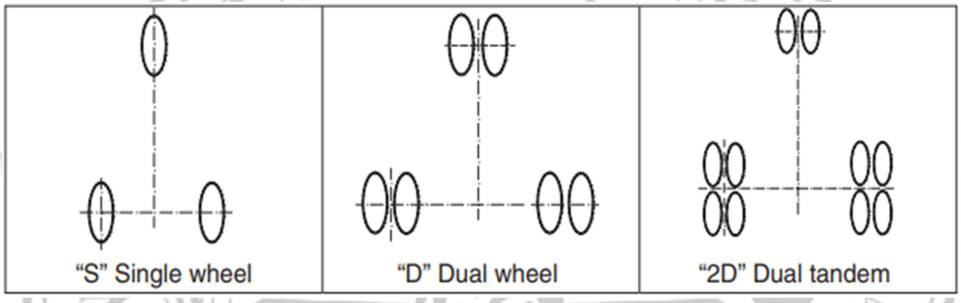
(Menurut horonjeff ,2015:59) Pesawat yang saat kini beroperasi di bandara penggunaan sipil dunia memiliki telah dirancang dengan berbagai konfigurasi roda pendaratannya. baling pesawat didesain Dengan salah satu dari tiga pengaturan dasar roda pendaratan, yaitu konfigurasi roda tunggal, yang diartikan sebagai roda utama dengan total dua roda, satu pada setiap dudukan; 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

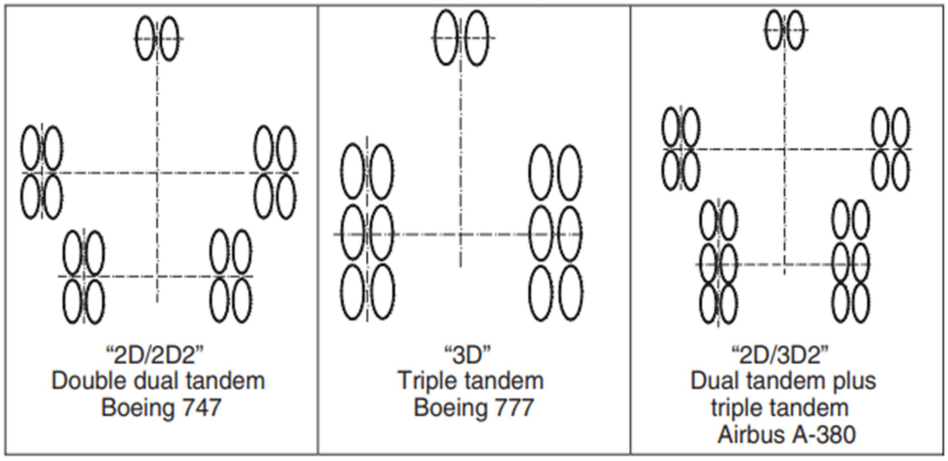
aircraft	Max.steering Angle,deg	Radius .ft		
		wingtips	Nose	tall
MD-81/83/88	82	65.9	80.7	74.3
MD-90	82	66.5	85.5	74.6
B 737-800	78	69.4	65.4	73.6
A-320	78	71	79.5	80
B 757-200	70	72.2	60	71.9
A-310	65	92	84	91
A 300-600	65	98	75.6	94.9
B 747-200	65	113	93	97
B 767-300	70	116.4	96.1	108.4
DC 10-30	68	118.1	105	100.8
MD-11	70	121.5	113.8	10.2
B 767-400	65	129.5	108.2	119.6
A340	78	130.6	109.9	120.4
B 777-300	70	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.



Gambar 2.4 Konfigurasi Dasar Roda Pesawat
(Sumber : horonjeff, 2010:61)



Gambar 2.5 Konfigurasi kompleks Roda Pesawat
(Sumber : horonjeff, 2010:61)

2.2.2 Bobot Pesawat Terbang

a. Operating Weight Empty (OWE)

Bobot pesawat terbang kosong termasuk air crew ,dan juga peralatan pesawat tetapi tidak termasuk bahan bakar dan penumpang/barang , ukuran tiap pesawat berbeda-beda tergantung konfigurasi tempat duduk pada masing-masing pesawat

b. Maximum Landing weight (MTOW)

Berat Maksimum Saat Mendarat (MTOW) merupakan berat maksimum yang diizinkan untuk pesawat saat melakukan lepas landas atau dalam kondisi lepas landas, dihitung sebagai selisih antara Berat Kosong Operasional (OWE), bahan bakar, cadangan bahan bakar, dan muatan. Merancang pesawat hanya untuk menahan berat struktural maksimum saat lepas landas tidaklah ekonomis. Sangat jarang pesawat mendarat dengan beban berat struktural maksimum yang harus ditopang.

c.Maximum Landing Weight (MLW)

Berat maksimum pesawat yang terjadi saat mencapai Berat Mendarat Maksimum (MLW) dihitung sebagai selisih antara Berat Kosong Operasional (OWE), Cadangan Bahan Bakar, dan Muatan. Struktur roda gigi utama yang dirancang untuk menanggung gaya yang lebih besar harus dilengkapi dengan roda gigi yang lebih kokoh.

d. Maximum Ramp Weight

Beban pesawat ketika melakukan start up (menyalakan mesin di apron sebelum lepas landas) dihitung dengan mengurangkan Material untuk meluncur ke ujung landasan dari Berat Maksimum Saat Lepas Landas (MTOW). Perbedaan dan selisih berat maksimum di atas landasan sangat minimal, hanya berjumlah beberapa ratus kilogram.

e. Pay Load

Produksi muatan baik barang maupun penumpang pada pesawat dianggap sebagai sumber pendapatan bagi perusahaan. Maksimum payload merujuk pada batas maksimum muatan yang diizinkan untuk setiap jenis pesawat oleh Direktorat Jenderal Perhubungan Udara.

2.2.3 Pengaruh Kemampuan Pesawat Pada Runway Dalam Perencanaan Geometrik

a. Kecepatan awal untuk mendaki Initial Climb Out Speed

untuk melakukan manuver pemanjangan saat mendaki (Initial Climb Out Speed) adalah kecepatan minimum di mana pilot diizinkan memulai pemanjangan setelah pesawat mencapai ketinggian 10,4 meter di atas permukaan landasan pacu.

b. Kecepatan putusan (Decision Speed)

ditentukan ketika mesin mengalami kegagalan sebelum mencapai kecepatan V1. Jika kegagalan mesin terjadi setelah mencapai V1, 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.

e. Jarak Lepas Landas

jarak horizontal yang ditempuh pesawat saat lepas landas dengan mesin non-aktif, tetapi pesawat sudah mencapai ketinggian 10,5 meter di atas permukaan landasan pacu.

f. Clearway

area di luar ujung landasan pacu dengan lebar minimal 500 kaki. Fungsi ini sebagai perpanjangan landasan yang masih dikontrol oleh pengelola bandara, dengan batas maksimum setengah panjang jalur lepas landas.

g. Stop way Perpanjangan landasan, dimanfaatkan untuk menahan pesawat saat gagal lepas landas

h. Accelerate Stop Distance

Jarak yang diperlukan untuk mencapai pada kecepatan V1 ditambah jarak yang diperlukan untuk berhenti di titik V1

Tabel 2.5 Karakteristik pesawat udara

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
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 1000 Nextgen	4c	1996	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)

2.3.1 Konfigurasi Landas Pacu

Konfigurasi landasan pacu mengacu pada jumlah dan relatif orientasi satu atau lebih landasan pacu disebuah bandar udara, banyak macam landas pacu yang ada (Horonjeff, 2010 :178)

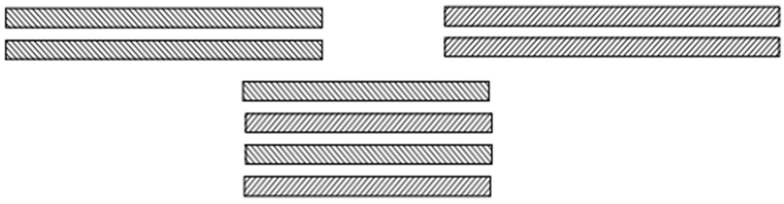
a. Single Runway

Runway tunggal adalah konfigurasi landasan pacu yang paling dasar. Diperkirakan bahwa kapasitas per jam dari satu landasan pacu dalam kondisi Visual Flight Rules (VFR) berkisar antara 50 dan 100 operasi per jam, sementara dalam kondisi Instrument Flight Rules (IFR) kapasitas ini berkurang menjadi 50 hingga 70 operasi per jam, tergantung pada campuran pesawat dan ketersediaan alat bantu navigasi.

Gambar 2.6 Single runway
(sumber : Mahyuddin, 2021)

b. Parallel Runways

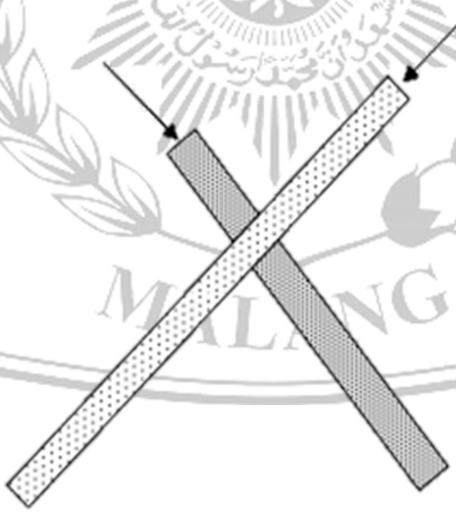
Kapasitas sistem landasan pacu paralel tergantung pada jumlahnya landasan pacu dan Jarak antara landasan pacu dapat bervariasi, dengan umumnya terdapat dua, tiga, atau empat landasan pacu yang berjajar sejajar. Spasi antara landasan pacu tersebut dapat dikategorikan sebagai dekat, menengah, atau jauh, tergantung pada seberapa jauh garis tengah antara dua landasan pacu paralel.



Gambar 2.7 Paralell Runways
(sumber : Mahyuddin, 2021)

c. Intersecting Runways

Banyak bandara Memiliki dua atau lebih landasan pacu yang saling bersilangan dengan arah yang berbeda disebut sebagai landasan pacu berpotongan. Persimpangan landasan pacu diperlukan ketika angin yang cukup kuat bertiup dari lebih dari satu arah, sehingga hanya satu landasan pacu yang dapat menangani angin silang yang signifikan. Ketika terjadi angin kencang, hanya satu landasan pacu yang bersilangan yang dapat digunakan, yang secara substansial mengurangi kapasitas lapangan terbang.. 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

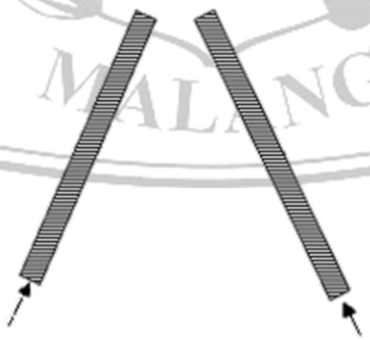


Gambar 2.8 Intersecting Runways
(sumber : Mahyuddin, 2021)

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.

Gambar 2.9 Open-V Runways
(sumber : Mahyuddin, 2021)



Gambar 2.10 Close-V Runways
(sumber : Mahyuddin, 2021)

2.3.2 Karakteristik Runway

Adapun karakteristik landasan pacu dapat dilihat sebagai berikut :

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 Runway

(Basuki , 1986 : 35) Menurut ICAO, ARFL adalah panjang landasan pacu minimum yang diperlukan untuk melakukan lepas landas pada berat maksimum saat lepas landas, elevasi di atas permukaan laut tertentu, kondisi atmosfer standar, tanpa adanya angin, dan landasan pacu tanpa kemiringan, yaitu kemiringan sama dengan nol.

ARFL (Airfield Reference Field Length) pada tiap-tiap tipe pesawat pasti berbeda tergantung pada pabrik atau tangan pertama yang memproduksi pesawat itu. Setelah ARFL Diketahui bahwa penyesuaian dilakukan terhadap karakteristik demografis area bandara, termasuk koreksi untuk ketinggian, suhu udara, kemiringan landasan pacu, dan kecepatan angin di bandara. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi perhitungan panjang landasan pacu menurut ICAO adalah sebagai berikut:

1. Panjang landas pacu dasar (Basic Actual Length) menentukannya dengan dasar asumsi kondisi bandara seperti
   a. Ketinggian bandara dengan acuan pada ketinggian dimuka air laut
   b. Temperatur bandara yang merupakan temperatur standard
   c. Runway bidang yang tidak mempunyai kemiringan kearah longidinal
2. Panjang landas pacu yang disyaratkan, bisa diketahui dengan memakai 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 suhu yang relatif lebih tinggi, dibutuhkan landasan pacu yang lebih panjang. Menurut ICAO, panjang landasan pacu harus disesuaikan dengan suhu, yaitu diberikan koreksi sebanyak 1% untuk setiap kenaikan 1ºC. ICAO merekomendasikan perhitungan koreksi temperatur dengan menggunakan rumus tertentu.

      $Ft = 1 + 0{,}01 (T – (15 – 0{,}0065 \times h)$ metric 2.1

      $Ft = 1 + 0{,}0056 (T – (59 – 0{,}0036 \times h)$ imperial 2.2

Ket :

Ft = 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 :

Fe = $1 + 0{,}07 \frac{h}{300}$ metrik 2.3

Fe = $1 + 0{,}07 \frac{h}{300}$ imperal..... 2.4

Ket :

Fe = koreksi elevasi

H = elevasi bandara

c. Kemiringan landasan (Runway Gradient) dibatasi oleh standar perencanaan lapangan terbang, yang membatasi kemiringan hingga 1 ½ persen. Dalam merancang bandara, FAA memperkenalkan konsep "Effective Gradient," yang mencakup perbedaan ketinggian antara titik tertinggi dan titik terendah pada penampang memanjang landasan, dibagi dengan panjang total landasan

Fs = 1+ 0,1 S (metrik atau imperal)..... 2.5

Ket :

Fs = koreksi kemiringan bandara

S = gradien effekif runway

d. Menghitung ARFL

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

La = ARFL x Ft x Fe x Fs..... 2.6

Ket :

La = panjang rencana landasan pacu

ARFL = panjang landas pacu minimum

Ft = faktor koreksi suhu

Fs = faktor koreksi kemiringan

Fe = faktor koreksi elevasi

2.3.4 Struktur Perkerasan Landas Pacu

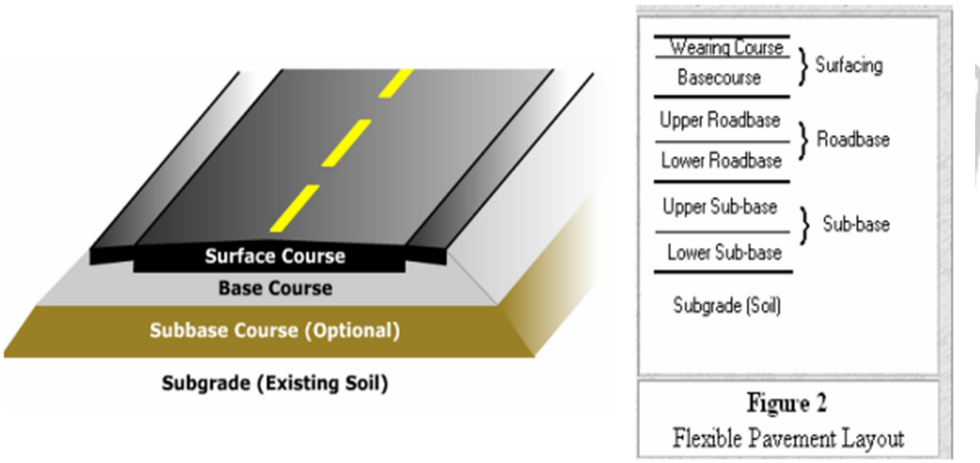
Menurut basuki (1986:269) Perkerasan memiliki peran sebagai penopang rata-rata untuk pesawat, dan permukaan yang rata menciptakan jalur pesawat yang seimbang. Dari segi fungsinya, sangat penting untuk memastikan bahwa setiap lapisan dari atas ke bawah memiliki kekerasan dan ketebalan yang memadai guna mencegah "Distress" (kerusakan akibat ketidakmampuan menahan beban).

Struktur perkerasan fleksibel terdiri dari beberapa lapisan, seperti surface course, base course, dan sub base course, yang semuanya ditempatkan di atas tanah asli yang telah dipadatkan, yang disebut sebagai sub grade. Sistem perkerasan fleksibel melibatkan penggunaan aspal pada lapisan permukaan yang ditempatkan di atas base course, dan bila diperlukan sesuai kondisi tanah dasar, sub base.

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 nonskid 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.

surface adalah elemen struktural utama perkerasan; itu memiliki fungsi mendistribusikan beban roda ke sub base dan tanah dasar. Itu 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.

fungsi sub base, bila diperlukan, mirip dengan base course, tapi karena sub base lebih lanjut dihapus dari area aplikasi beban, itu mengalami intensitas tegangan yang lebih rendah. Sub base biasanya diperlukan ketika perkerasan lentur harus ditopang oleh tanah dengan nilai CBR kurang dari 20.Sub base course perkerasan fleksibel tersedia dalam berbagai jenis.



Gambar 2.11 struktur perkerasan fleksibel
(sumber : wahyudi : 48)

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 Basuki (1983 :288) Secara prinsip, analisis statistik membandingkan kondisi lokal seperti tanah, sistem drainase, dan metode bebanan untuk perilaku beban. FAA telah mengklasifikasikan tanah menjadi 13 bagian sebagai dasar analisis tersebut.

- Klas E1 adalah tanah yang memiliki gradasi baik,kasar dan butirannya tetap stabil ,biasanya terdiri dari pasir yang mempunyai gradasi baik,dan juga kerikil tidak ada butiran halus
- Klas E2 merupakan jenis tanah yang mirip dengan E1 namun kandungan pasir didalamnya relatif sedikit lebih mengandung lumpur ataupun tanah liat yang banyak
- Klas E3 dan E4 keduanya terdapat dari tanah berbutir halus dan tanah berpasir namun gradasinya relatif lebih buruk dibandingkan dengan E1 dan E2
- Klas E5 terdiri dari tanah yang memiliki gradasi jelek mempunyai kandungan lumpur dan tanah liat campuran > 35% dan < 45%
- Klas E6 terdiri dari lumpur yang berpasir , jenis tanah ini stabil bila kondisi kering dan juga sebaliknya bila pada kondisi basah stabilitasnya akan menghilang
- Klas E7 didalamnya adalah tanah yang terdiri dari tanah liat berlumpur, pasir berlempung, dan lumpur berlempung memiliki karakteristik yang berkisar dari kaku hingga lunak ketika dalam kondisi kering, tetapi menjadi plastis saat dalam kondisi basah..
- Klas E8 hampir sama dengan E7 namun liquid limitnya yang tinggi akan menghasilkan derajat pemampatan yang relatif lebih besar

- Klas E9 terdiri dari Pencampuran tanah liat dengan lumpur menghasilkan kondisi yang sangat elastis dan sulit untuk dipadatkan.
- Klas E10 kondisi tanah yang berlumpur dan tanah liat yang membentuk gumpalan keras pada saat kondisi kering, namun akan plastis pada kondisi basah
- Klas E11 hampir sama dengan E10 namun memiliki liquid limit yang relatif tinggi
- Klas E12 tanah ini mempunyai Liquid Limit diatas 80 . bisa terbentuk oleh tanah liat dengan plasticitas yang tinggi namun sangat tidak stabil karena kelembabannya yang berlebihan
- Klas E13 jenis tanah ini meliputi semua jenis tanah rawa organik, yang sangat lemah dan sangat lembab di tempat aslinya.

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 : basuki ,1983 :293)

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 lalu

memprediksi jumlah penerbangan tahunan dan juga konfigurasi roda pendaratan ,dengan menggunakan rumus

W1 = MTOW Pesawat rencana x 95% x$\frac{1}{jumlah\ roda\ pesawat\ utama}$..... 2.7

W2 = MTOW Pesawat operasi x 95% x$\frac{1}{jumlah\ roda\ pesawat\ utama}$ 2.8

R2 = keberangkatan tahunan x faktor penggali keberangkatan tahunan..... 2.9

R1 = $10^{LogR2}(\frac{W2}{W1})^{0.5}$ 2.10

Ket :

R1 = Equivalent annual departure pesawat rencana

R2 = Annual departure pesawat , dalam roda pendaratan pesawat rencana

W1 = Bobot roda dari pesawat rencana

W2 = Bobot roda dari pesawat yang ingin diketahui

Pesawat yang memiliki dimensi badan yang luas, dengan perkiraan berat sekitar 300.000 lbs dan dilengkapi dengan roda pendaratan dual tandem, memerlukan konversi khusus untuk perhitungan equivalent annual departure. Selain itu, karena roda pendaratan pesawat memiliki jenis yang beragam, perlu dilakukan konversi khusus sebelum perhitungan dapat dilakukan.

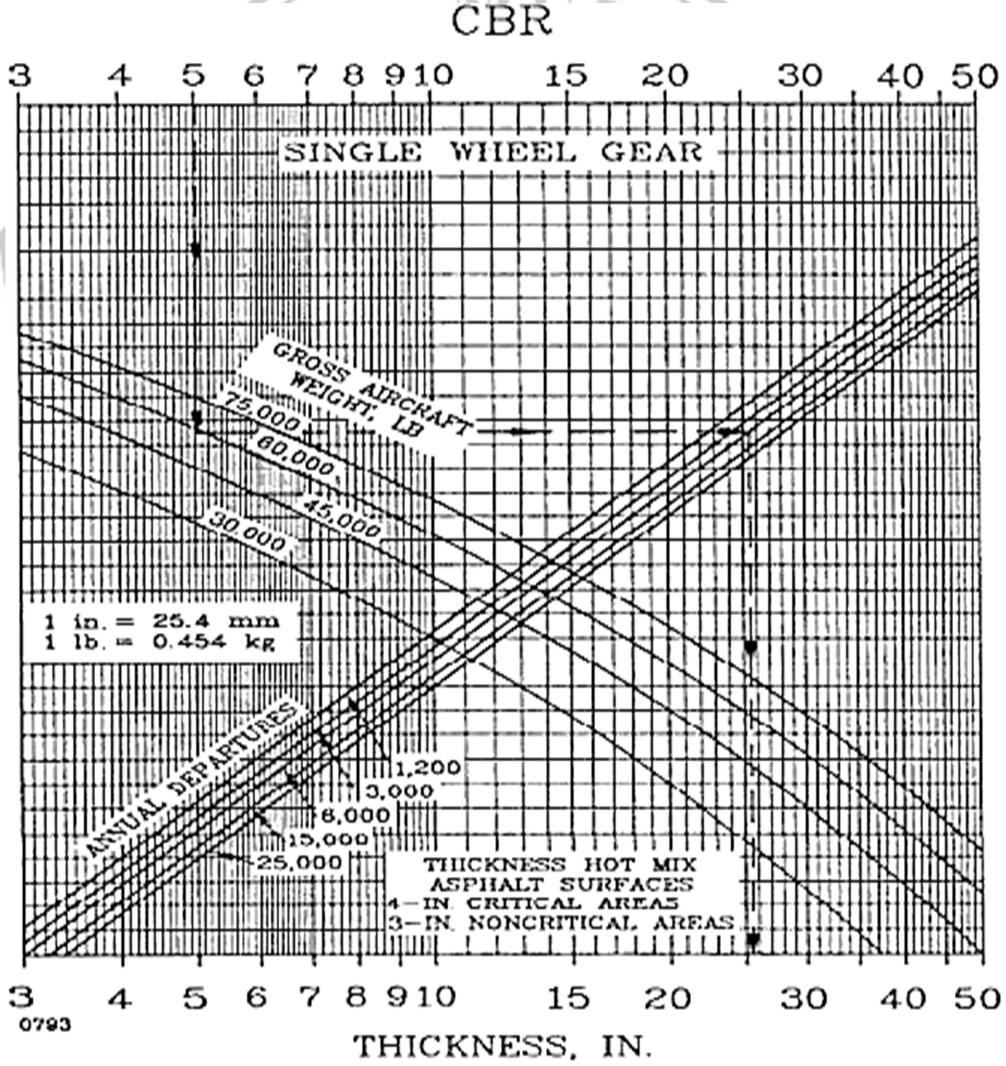
Tabel 2.10 Konversi roda pendaratan

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

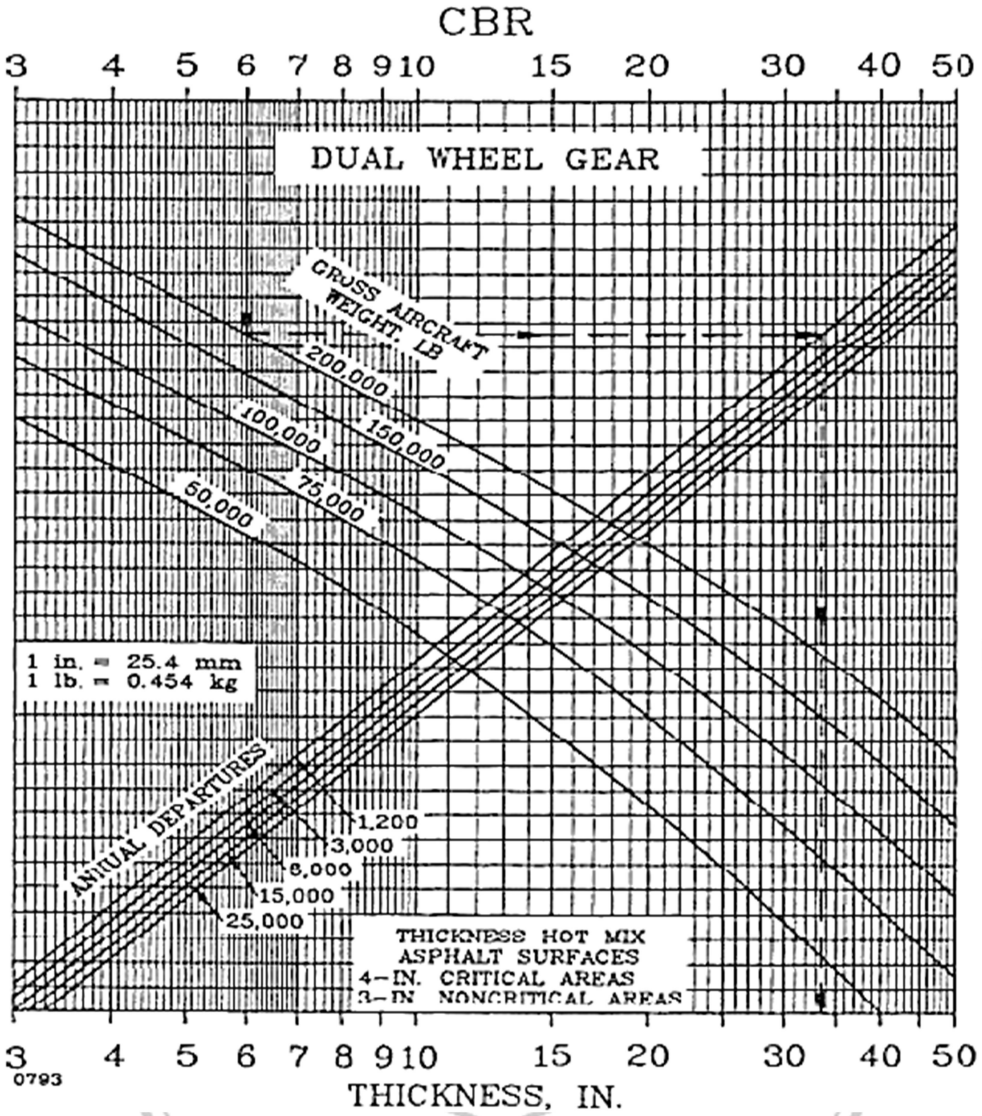
(Sumber :Basuki, 1983 : 295)

2.4.2 Grafik FAA Untuk Perencanaan Perkerasan Lentur

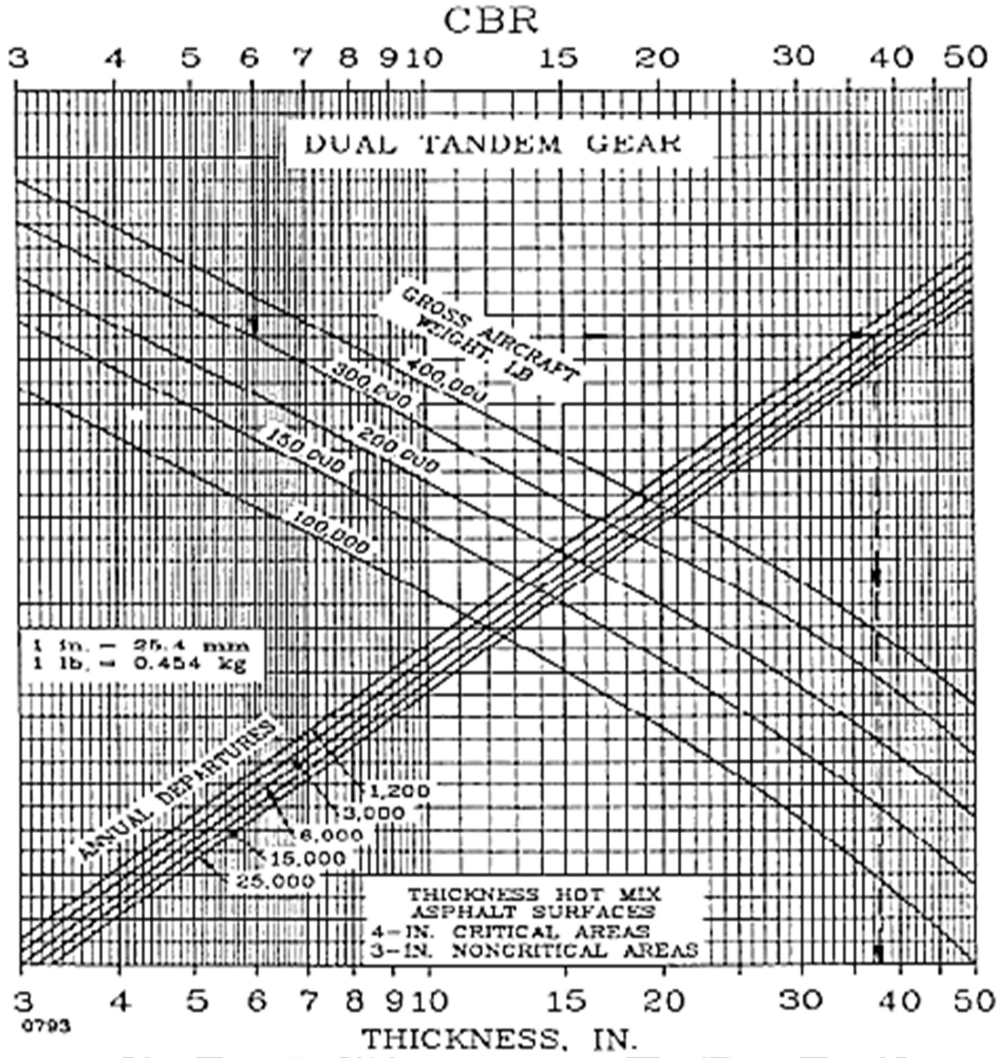
Perencanaan menggunakan metode FAA menggunakan grafik perencanaan perkerasan berdasarkan referensi corp of engineer, yang diadobsi dari metode CBR yang telah terbukti .Perhitungannya menggunakan grafik FAA dapat dipakai untuk umur perencanaan hingga 20 tahun tanpa perlu perbaikan besar dengan pengecualian perubahan lalu lintas pesawat. Penggunaan grafik ini membutuhkan nilai CBR sub base,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



Gambar 2.12 Grafik perencanaan perkerasan lentur untuk single wheel
(Sumber : Basuki ,1986:305)



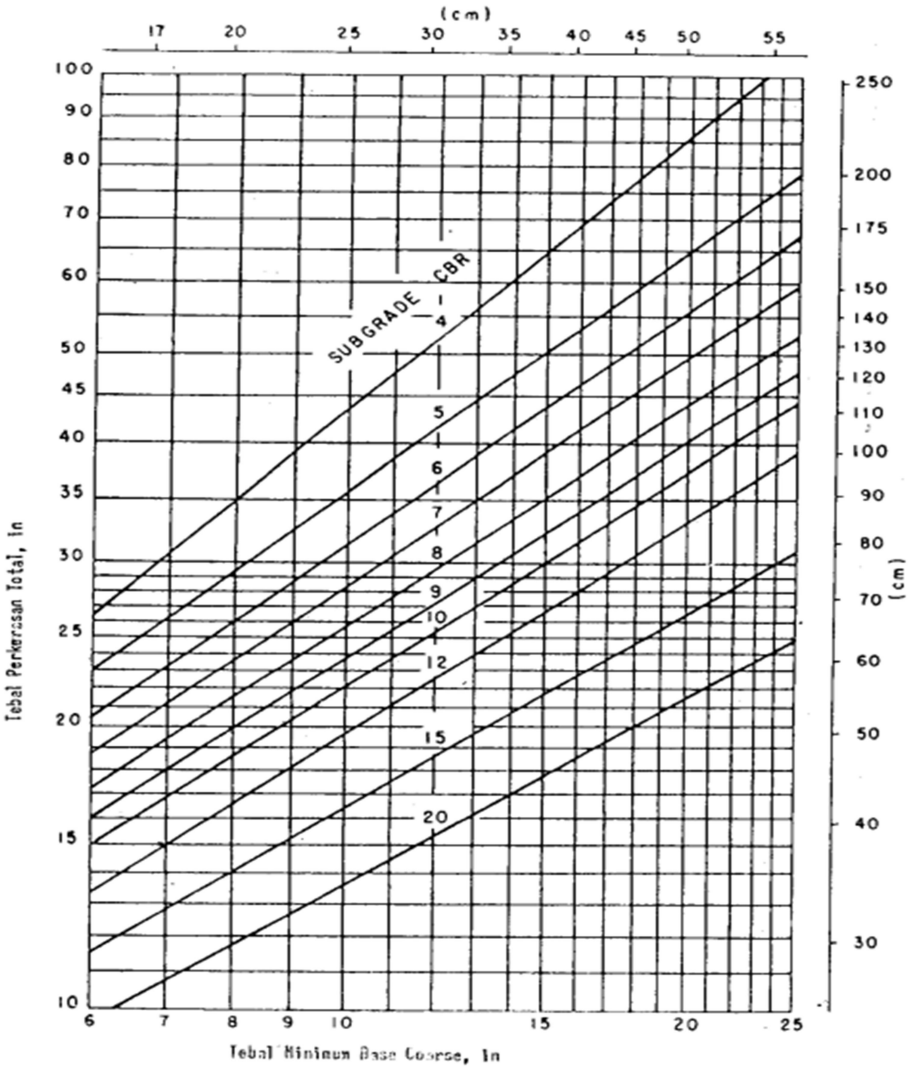
Gambar 2.13 Grafik perencanaan perkerasan lentur untuk dual wheel
(Sumber : Basuki ,1986:306)



Gambar 2.14 Grafik perencanaan perkerasan lentur untuk Dual Tandem
(Sumber : Basuki ,1986:307)

2.4.3 Menentukan Tebal Base Course

Menentukan ketebalan Base Course melibatkan pengurangan total ketebalan perkerasan dari hasil perhitungan ketebalan sub base 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 sub base course sehingga mengubah ketebalan sub base course.



Gambar 2.15 Grafik perencanaan tebal base course
(Sumber : Basuki ,1986:314)

2.4.4 Metode CBR

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

a. Menyiapkan tanah dasar untuk tes CBR dalam laboratorium proses eksperimennya dilakukan dengan pemadatan menggunakan kadar air tertentu
b. Menentukan nilai equivalent single wheel load berupa bobot roda tunggal .dalam menentukan ESWL didasari oleh tegangan vertikal, lengkugan dan regangan

c. Menentukan pesawat rencana,dengan melihat nilai MSTOW *(maximum structural take off weight)* serta jumlah data keberangkatan tiap tipe pesawat udara yang beroperasi ,dan juga dapat ditentukan tipe pesawat yang memberikan tebal perkerasan paling dominan atau optimal.

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 :

Log(ESWL) = LOG pd+ $\frac{0{,}31 \log(2xd)}{Log(\frac{2xz}{d})}$.....2.11

e. Menghitung tebal total perkerasan menggunakan rumus:

t = $\sqrt{ESWL\,(\frac{1}{8.1\,CBR} - \frac{1}{P\,\pi})}$.....2.12

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

1. Membuat Work Breakdown Structure
2. Membuat Bill of Quantity
3. Menentukan metode pelaksanaan
4. Menghitung produktivitas alat dan pekerja
5. Membuat Analisa Harga Satuan
6. Membuat Rencana anggaran biaya

Menurut Agus B (2019:39) Konsep penyusun Perencanaan anggaran biaya proyek didasarkan pada analisis komponen penyusunnya, seperti bahan, upah,

dan peralatan. Hasil analisis komponen tersebut akhirnya akan menghasilkan HSP (Harga Satuan Pekerjaan). Rencana anggaran biaya memiliki manfaat, antara lain, sebagai rincian harga penawaran yang disusun oleh kontraktor saat mengajukan penawaran untuk pekerjaan suatu proyek.

$$\text{RAB} = \sum[(Volume)x\ Harga\ Satuan\ Pekerjaan] \quad \text{.....2.13}$$

Adapun penjelasan komponen penyusun RAB sebagai berikut :

1. Komponen biaya langsung(Direct Cost)
   a. Biaya bahan atau material: Merupakan harga dari bahan yang digunakan selama proses pelaksanaan konstruksi.
   b. Upah tenaga kerja: Merupakan biaya yang dibayarkan kepada pekerja berdasarkan keahliannya. Upah tenaga kerja ini harus disesuaikan dengan produktivitas kerja masing-masing pekerja, walaupun produktivitas tiap pekerja bisa bervariasi, oleh karena itu, nilai satuan upah pekerja ditentukan berdasarkan jumlah jam kerja dalam satu hari (8 jam). Jenis-jenis tenaga kerja dapat dibedakan menjadi:
      1. Pekerja
      2. Pekerja terampil
      3. Tukang (kayu, besi, batu, dan sebagainya)
      4. Kepala tukang
      5. Mandor
      6. Operator alat berat
   c. Biaya peralatan: Diperlukan untuk kegiatan sewa-menyewa, pemindahan, dan pembongkaran. Biaya peralatan ini memiliki dampak besar dalam perencanaan biaya karena berperan sebagai pendorong utama dalam terlaksananya suatu proyek. Beberapa jenis alat berat yang dapat digunakan dalam setiap proyek meliputi:
      1. Dozer
      2. Excavator
      3. Loader
2. Komponen biaya tidak langsung (Indirect Cost)
   a. Overhead umum: sewa kantor, peralatan kantor

b. Overhead proyek : adalah biaya yang dapat dialokasikan ke proyek tetapi tidak dapat diatribusikan langsung ke biaya bahan atau upah kerja.Profit: keuntungan yang didapat oleh pelaksana kegiatan sebagai nilai imbal jasa
c. 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

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. Tahapan perhitungan harga satuan bahan :
   - Memerlukan pengetahuan harga satuan dasar suatu bahan atau material, yang juga mencakup estimasi anggaran untuk transportasi.
   - Menghitung kapasitas produksi per jam 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.