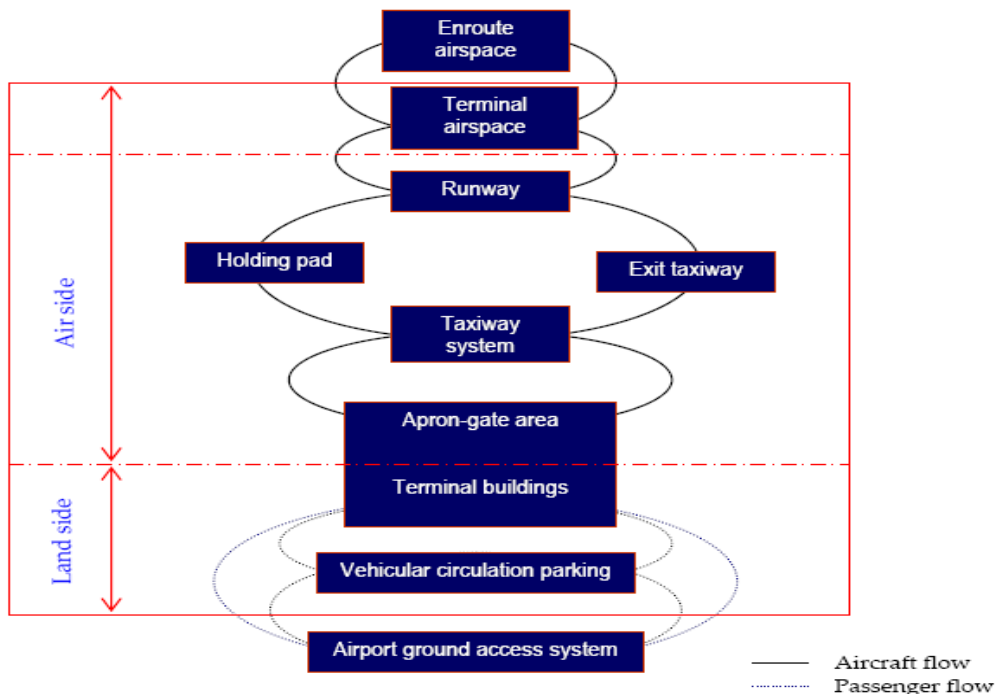


BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Bandar Udara

Bandar Udara merupakan suatu sistem yang kompleks yang terdiri dari sisi udara (*airside*) dan sisi darat (*landside*). Sisi udara pada bandara meliputi *runway*, *taxiway*, *apron*, dan elemen lainnya penunjang sisi udara pada bandara. Sedangkan yang dimaksud pada sisi darat meliputi terminal penumpang, tempat parkir kendaraan, dan sistem jalan masuk darat ke bandara. Bagian-bagian pada subsistem bandara tersebut dapat dilihat pada gambar berikut



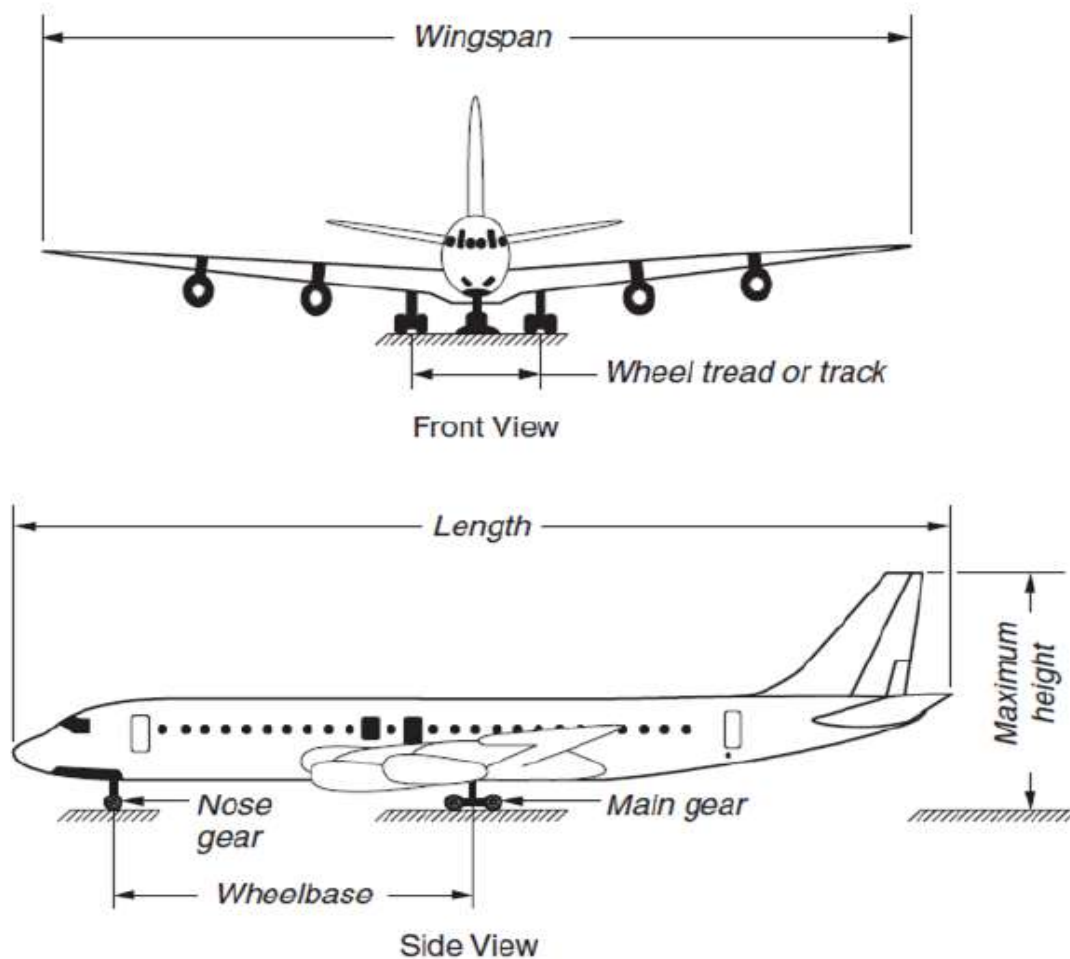
Gambar 2.1 Bagian-bagian dari Sistem Bandara

Sumber : PT. Angkasa Pura I

Setiap bandara memiliki kode IATA (*International Air Transport Association*) dan ICAO (*International Civil Aviation Organization*) yang berbeda-beda. Kode ini bisa diambil dari berbagai hal seperti nama bandar udara, daerah tempat bandar udara, atau nama kota yang dilayani. Kode yang diambil dari bandar udara mungkin berbeda dengan namanya yang sekarang karena sebelumnya bandar udara tersebut memiliki nama yang berbeda.

2.2 Karakteristik Pesawat Terbang

Karakteristik pesawat terbang merupakan aspek yang signifikan dalam menentukan perencanaan *runway*. Klasifikasi dan spesifikasi akan menentukan panjang *runway*, tebal perkerasan, dan metode perencanaan di lapangan. Merancang dan merencanakan lapangan terbang dibutuhkan pengetahuan tentang sifat-sifat pesawat terbang secara umum untuk merencanakan prasarananya.



Gambar 2.2 Elemen pada pesawat terbang

Sumber : Perencanaan dan Perancangan Bandar Udara Edisi Ketiga (Horonjeff, 1988)

Bagi pesawat besar yang sangat menentukan kebutuhan panjang landasan pacu adalah jarak yang akan ditempuh sehingga menentukan berat lepas landas (*Take Off Weight*). Jadi jika banyak anggapan bahwa makin besar pesawat terbang, makin panjang landasan pacu tidaklah selalu benar. Karakteristik beberapa pesawat terbang dapat dilihat pada tabel 2.1 dibawah ini :

Tabel 2.1 Karakteristik Pesawat Terbang

Jenis Pesawat	Bentang Sayap	Panjang Pesawat	MTOW (kg)	MLW (kg)	Berat Kosong (kg)	Berat Bahan Bakar(kg)	Muatan Maximum Penumpang	Panjang Landasan Pacu (m)
ATR 72	27 m	27,2 m	22.000	21.850	12.950	20.000	62-74	1.250
Fokker 50	29 m	25,2 m	19.950	19.500	12.520	18.600	50	1.120

Sumber : <http://www.airlines-inform.com>

2.2.1 Berat Pesawat Terbang

Berat pesawat dan komponen-komponen berat adalah yang paling menentukan dalam menghitung panjang landasan pacu dan kekuatan perkerasan.

a. Operating Weight Empty

Adalah berat dasar pesawat, termasuk di dalamnya Crew dan peralatan pesawat tetapi tidak termasuk bahan bakar dan penumpang/barang yang membayar.

b. Pay Load

Adalah produksi muatan (barang/penumpang) yang membayar, diperhitungkan menghasilkan pendapatan bagi perusahaan. Termasuk di dalamnya penumpang, barang-barang, paket-paket, dan Excess bagasi.

c. Zero Fuel Weight

Adalah batasan berat, spesifik pada tiap jenis pesawat, di atas batasan berat itu tambahan berat harus berupa bahan bakar, sehingga ketika pesawat sedang terbang tidak terjadi momen lentur yang berlebihan pada sambungan.

d. Maximum Ramp Weight

Berat maximum pesawat yang diizinkan untuk taxi. Pada saat pesawat taxiing dari apron menuju ujung landasan pacu dia berjalan dengan kekuatannya sendiri, membakar bahan bakar sehingga kehilangan berat.

e. Maximum Structural Landing Weight

Adalah kemampuan structural pesawat pada waktu mendarat. Main Gear (roda pendaratan) utama yang strukturnya direncanakan untuk menyerap gaya yang lebih besar tentu harus dengan gear yang lebih kuat. Selama penerbangan pesawat akan kehilangan berat dengan dibakarnya bahan bakar lebih-lebih untuk pesawat-pesawat yang baru menerbangi rute jauh.

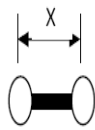
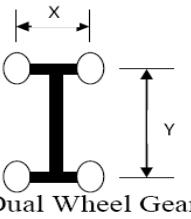
f. Maximum Structural Take Off Weight

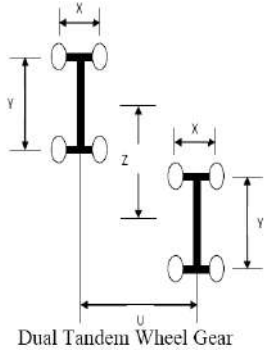
Adalah berat maximum pesawat termasuk crew, berat pesawat kosong, bahan bakar, pay load yang diizinkan oleh pabrik, sehingga momen tekuk yang terjadi pada badan pesawat, rata-rata dalam batas kemampuan material pembentuk pesawat.

2.2.2 Konfigurasi roda pendaratan utama pesawat

Konfigurasi roda pendaratan dirancang untuk menyerap gaya-gaya yang timbul selama proses pendaratan dan menahan beban yang lebih kecil dari pesawat yang lepas landas maksimum. Pembagian beban statik antara roda pendaratan utama (Main Gear) dan Nose Gear tergantung pada tipe pesawat dan tempat pusat gravitasi pesawat. Untuk menjaga keseimbangan, pembagian muatan harus sedemikian sehingga pusat gravitasi tidak melampaui batas maksimum ke depan maupun ke belakang tubuh pesawat. Untuk merencanakan kekuatan landasan dianggap bahwa 5 % beban diberikan kepada Nose Gear sedangkan yang 95 % dibebankan kepada Main Gear, bila ada dua Main Gear masing-masing gear menahan 47,5% beban pesawat. Pada Main Gear yang mempunyai lebih dari dua gear dibuat sumbu tengah antara dua gear. Dalam perencanaan dimensi dan perkerasan suatu landasan pacu, perlu diperhatikan konfigurasi roda pendaratan utamanya. Berikut adalah macam-macam konfigurasi roda pendaratan utama dari jenis-jenis pesawat terbang yang ditunjukkan pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Konfigurasi roda pendaratan utama pesawat

Konfigurasi roda pendaratan utama	Tipe Pesawat	Ukuran (in)				Tekanan angin roda pesawat (psi)
		X	Y	Z	U	
 Single Wheel Gear	B-727 B-737 DC-9	34,0 30,5 25,0				168 148 152
 Dual Wheel Gear	DC-8-61 DC-8-62 DC-8-63 DC-10-10 B-720B B-707-120B B-707-320B Concorde A 300B	30,0 32,0 32,0 54,0 32,0 34,0 34,6 26,4 35,0	55,0 55,0 55,0 64,0 49,0 56,0 56,0 65,7 55,0			188 187 196 173 145 170 180 184 168

 Dual Tandem Wheel Gear	747 A	44,0	58,0	121,2	142,0	204
	747 B, C, F	44,0	58,0	121,2	142,0	185

Sumber : Basuki, 1986

2.3 Klasifikasi Bandar Udara

Bandar Udara diklasifikasikan menjadi 2 yaitu menurut ICAO (*International Civil Aviation Organization*) dan FAA (*Federal Aviation Administration*).

2.3.1 Klasifikasi Bandar Udara menurut ICAO

ICAO memberikan kode A, B, C, D, dan E dalam mengklasifikasi Bandar Udara untuk mempermudah membaca antar beberapa spesifikasi pesawat, dengan berbagai karakteristik lapangan terbang. Dasar pembagian kelas-kelas ini hanya berdasarkan panjang landasan pacu, tidak berdasarkan fungsi bandara. Klasifikasi landasan pacu berdasarkan tabel Aerodrome Reference Code untuk menentukan kelas landasan pacu sebagai berikut:

Tabel 2.3 Aerodrome Reference Code (Kode Angka)

Kode Angka	Aerodrome Reference Field Length (ARFL)
1	< 800 m
2	800-1200 m
3	1200-1800 m
4	>1800 m

Sumber : Horonjeff,R (1988)

Tabel 2.4 Aerodrome Reference Code (Kode Huruf)

Kode Huruf	Lebar Sayap (<i>Wing span</i>)	Jarak Terluar Roda Pendaratan (<i>Outer Main Gear Wheel Span</i>)
A	4,5-15 m	< 4,5 m
B	15-24 m	4,5-6 m
C	24-36 m	6-9 m
D	36-52 m	9-14 m
E	52-60 m	9-14 m

Sumber : Horonjeff,R (1988)

2.3.2 Klasifikasi Bandar Udara menurut FAA

Dalam perencanaan Bandar udara menurut FAA dibagi menjadi 2 kelas yaitu Air Carrier dan General Aviation. Kelas General Aviation dibagi sebagai berikut :

a. Bandar Udara utilitas (*utility airport*)

Adalah bandar udara yang melayani pesawat dengan berat < 12.500 lbs, tidak termasuk pesawat jet.

b. *Basic utility stage I*

Basic utility stage I adalah bandar udara yang melayani 75 % pesawat-pesawat kecil dengan berat 3.000 lbs.

c. *Basic utility stage II*

Basic utility stage II adalah bandar udara yang melayani pesawat 95 % pesawat propeller dengan berat lebih kecil dari 12.000 lbs (melayani pesawat dengan berat 8.000 lbs).

d. *General utility*

General utility adalah bandar udara yang melayani pesawat propeller < 12.000 lbs.

e. *Basic transport*

Basic transport adalah bandar udara yang melayani pesawat propeller atau pesawat turbin dengan berat sampai 60.000 lbs.

f. *General transport*

General transport adalah bandar udara yang melayani pesawat transport digunakan untuk *general aviation* dengan berat kotor 175.000 lbs dan lebih besar.

Tabel 2.5 Klasifikasi Kelompok Rancangan Pesawat untuk Perencanaan Geometrik Bandar Udara menurut FAA

Kelompok Rancangan Pesawat	Bentang Sayap (<i>Feet</i>)	Pesawat Terbang Tipikal
I	Kurang dari 49	Learjet 24, Rockwell Sabre 75 A
II	49 tapi kurang dari 79	Gulfstream II, Rockwell saber 80
III	79 tapi kurang dari 118	B-727, B-737, BAC-1-11, B-757, B-767, Concorde, L-1011, DC-9
IV	118 tapi kurang dari 171	A-300, A-310, B-707, DC-8, DC-10
V	171 tapi kurang dari 197	B-747
VI	197 tapi kurang dari 262	Belum Ada

Sumber: Horonjeff,R (1988)

Tabel 2.6 Klasifikasi Kategori Pendekatan Pesawat ke Landasan menurut FAA

Kategori Pendekatan	Kecepatan Mendekati Landasan (Knot)
A	Kurang dari 91
B	91-120
C	121-140
D	141-165
E	166 atau lebih besar

Sumber : Horonjeff,R (1988)

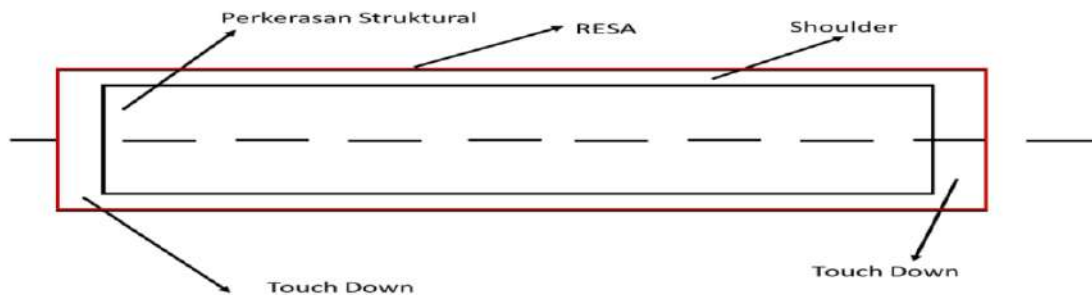
2.4 Konfigurasi Landasan Pacu Bandar Udara

2.4.1 Elemen-elemen Landasan Pacu

Elemen-elemen pada Landasan Pacu antara lain :

- a. Perkerasan Struktural sebagai tumpuan pesawat udara.
- b. Bahu Landasan yang berbatasan dengan perkerasan structural, direncanakan sebagai penahan erosi akibat air dan semburan mesin jet, serta melayani perawatan landasan.

- c. Area keamanan Landasan Pacu (Runway Safety Area) yang terdiri dari struktur perkerasan, bahu landasan, dan area bebas halangan.
- d. Blast pad, area yang direncanakan untuk mencegah erosi pada permukaan yang berbatasan dengan ujung landasan pacu.



Gambar 2.3 Elemen pada perkerasan runway

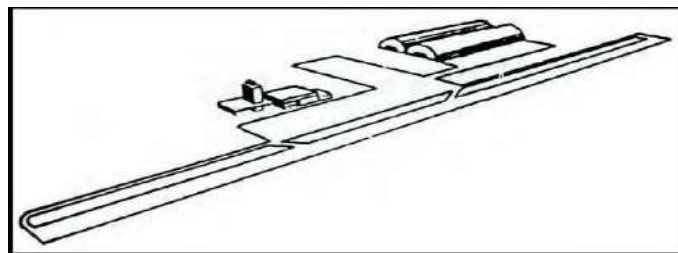
Sumber : Perencanaan dan Perancangan Bandar Udara Edisi Ketiga (Horonjeff, 1988)

2.4.2 Konfigurasi Landasan Pacu

Konfigurasi dari landasan pacu ada bermacam-macam yang merupakan kombinasi dari konfigurasi dasar yaitu :

a. Landasan Tunggal

Adalah konfigurasi yang paling sederhana. Kapasitas dalam kondisi Visual Flight Rule (VFR) antara 45-100 gerakan tiap jam.

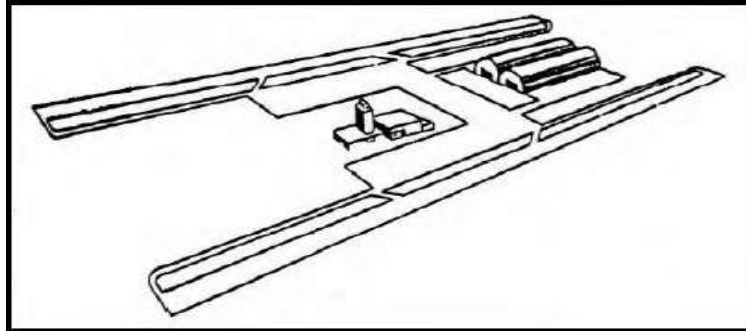


Gambar 2.4 Landasan Tunggal

Sumber : Perencanaan dan Perancangan Bandar Udara Edisi Ketiga (Horonjeff, 1988)

b. Landasan Paralel

Kapasitas landasan sejajar terutama tergantung pada jumlah landasan dan pemisahan/penjarakkan antara dua landasan, yang biasa adalah dua landasan sejajar.



Gambar 2.5 Landasan Paralel

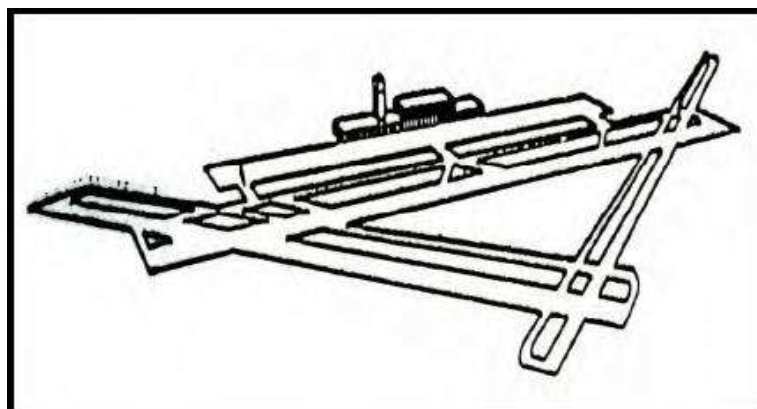
Sumber : Perencanaan dan Perancangan Bandar Udara Edisi Ketiga (Horonjeff, 1988)

c. Landasan dua jalur

Landasan dua jalur terdiri dari dua landasan yang sejajar dipisahkan berdekatan (700ft – 2499 ft) dengan exit taxiway secukupnya. Walaupun kedua landasan dapat dipakai untuk operasi penerbangan campuran, tetapi diinginkan operasinya diatur, landasan terdekat dengan terminal untuk keberangkatan pesawat dan landasan jauh untuk kedatangan pesawat. Dalam perhitungan bahwa landasan dua jalur dapat melayani 70% lalu lintas lebih banyak daripada landasan tunggal dalam kondisi VFR dan sekitar 60% lalu lintas lebih banyak daripada landasan tunggal dalam kondisi IFR.

d. Landasan Bersilangan

Landasan bersilangan diperlukan jika angin yang bertiup keras lebih dari satu arah, yang akan menghasilkan tiupan angin berlebihan bila landasan mengarah ke satu mata angin. Pada satu saat angin bertiup kencang satu arah maka hanya satu landasan dari dua landasan yang bisa digunakan. Bila angin bertiup lemah (kurang dari 20 knots atau 13 knots) maka kedua landasan bisa dipakai bersama-sama.

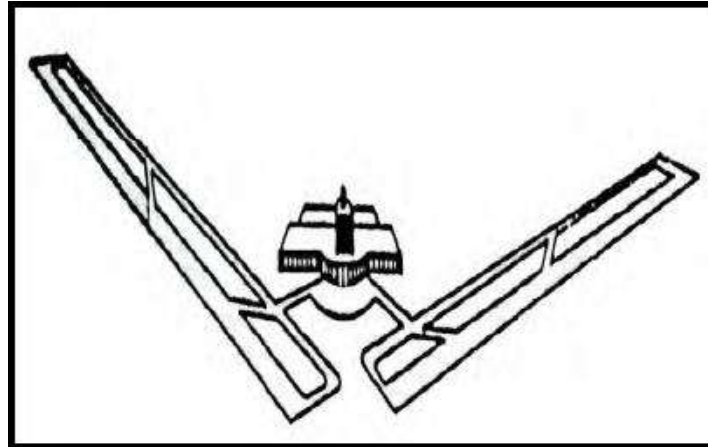


Gambar 2.6 Landasan Bersilangan

Sumber : Perencanaan dan Perancangan Bandar Udara Edisi Ketiga (Horonjeff, 1988)

e. Landasan V terbuka.

Landasan dengan arah divergen, tetapi tidak saling berpotongan disebut landasan V terbuka. Landasan V terbuka dibentuk karena arah angin keras dari banyak arah, sehingga harus membuat landasan dengan dua arah. Ketika angin bertiup kencang dari satu arah, maka landasan hanya bisa dioperasikan satu arah saja, sedangkan pada angin bertiup lembut, landasan dua-duanya dapat dipakai bersama-sama.



Gambar 2.7 Landasan V terbuka

Sumber : Perencanaan dan Perancangan Bandar Udara Edisi Ketiga (Horonjeff, 1988)

2.4.3 Karakteristik Landasan Pacu

a. Lebar Landasan Pacu

Lebar landasan pacu ditentukan dengan standar ICAO pada tabel 2.7 berikut:

Tabel 2.7 Lebar Minimal Landasan Pacu Berdasarkan Kode Landasan Pacu

Kode Angka	Kode Huruf				
	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	45 m	45 m

Sumber : Horonjeff (1988), ICAO

b. Kemiringan Memanjang (longitudinal Slope) Landasan Pacu

Kemiringan memanjang landasan pacu telah ditentukan dengan standar ICAO seperti pada tabel 2.8 berikut :

Tabel 2.8 Kemiringan Memanjang Landasan Pacu Standar ICAO

Kriteria	1	2	3	4
Kemiringan efektif maksimum	1,0	1,0	1,0	1,0
Kemiringan memanjang maksimum	2,0	2,0	1,5	1,25
Perubahan kemiringan memanjang maksimum	2,0	2,0	1,5	1,5
Perubahan kemiringan per 30m	0,4	0,4	0,2	0,1

Sumber: Horonjeff (1988), ICAO

c. Kemiringan Melintang (Transversal Slope) Landasan Pacu

Untuk menjamin pengaliran air permukaan yang berada di atas landasan perlu kemiringan pada landasan pacu sesuai standar ICAO yang dapat dilihat pada tabel 2.9 berikut :

Tabel 2.9 Kemiringan Melintang Landasan Pacu Standar ICAO

Kode Huruf Landasan Pacu	Kemiringan Melintang
A	2,0 %
B	2,0%
C	1,5 %
D	1,5 %
E	1,5%

Sumber : Horonjeff (1988), ICAO

d. Runway and Safety Area (RESA)

Area keamanan ujung landasan dibuat dengan panjang secukupnya, tetapi paling kurang 90 m. Kemudian lebarnya paling kurang 2 kali landasan, tetapi FAA mensyaratkan lebar minimum 150 m. Area keamanan landasan pacu harus memiliki kemiringan ke bawahnya tidak boleh lebih dari 5 %.

e. Stopway

Pada daerah stopway ditetapkan kemiringan diukur dari ujung sebesar 0,3 % tiap 30 m bagi landasan dengan kode angka 3 atau 4.

f. Clearway

Kemiringan daerah clearway tidak boleh lebih dari 1 ¼ %.

2.5 Lingkungan Lapangan Terbang

Lingkungan lapangan terbang yang berpengaruh terhadap panjang landasan yaitu temperatur, angin permukaan, kemiringan landasan pacu, ketinggian lapangan terbang dari muka laut dan kondisi permukaan landasan. Selanjutnya dalam semua perhitungan panjang landasan pacu dipakai standar yang disebut Aeroplane Reference Field Length (ARFL). Menurut ICAO, ARFL adalah landasan pacu minimum yang dibutuhkan untuk lepas landas pada maximum sertifikasi take off weight, elevasi muka laut, kondisi standar atmosfer, keadaan tanpa angin bertiup, landas pacu tanpa kemiringan (kemiringan = 0).

a. Temperatur

Pada temperatur yang lebih tinggi dibutuhkan landasan yang lebih panjang, sebab temperatur tinggi density udara rendah, menghasilkan output daya dorong yang rendah. Sebagai standar temperatur dipilih temperatur di atas muka laut sebesar 59° F = 15° C. ICAO merekomendasikan hitungan koreksi temperatur sebagai berikut :

$$KET = KE \times (\text{temperatur} - (15 - 0,0065h)) \times 1\% + KE \dots\dots\dots(1)$$

Dengan :

KET = Faktor koreksi temperatur

KE = Faktor koreksi ketinggian

h = Ketinggian Bandar Udara dari muka laut

b. Ketinggian/Altitude

Dalam rekomendasi ICAO bahwa ARFL bertambah setiap 7 % setiap kenaikan 300 m dihitung dari ketinggian muka laut. Maka rumusnya yaitu:

$$KE = \left[ARFL \times 7\% \times \frac{\text{elevasi runway}}{300} \right] + ARFL \dots\dots\dots(2)$$

Dengan :

KE = Faktor koreksi ketinggian

ARFL = Panjang landasan pacu (m)

c. Kemiringan Landasan (Runway Gradient)

Kemiringan ke atas memerlukan landasan yang lebih panjang dibanding landasan yang datar atau yang menurun. Bagi pesawat bermesin turbin, faktor koreksinya antara 7-10% setiap kemiringan uniform 1 %. Untuk menyeragamkan dengan pesawat bermesin piston, F_s disamakan sebesar 10 %. Kriteria perencanaan lapangan terbang membatasi kemiringan landasan sebesar 1,5 %. Maka rumusnya sebagai berikut:

$$KETS = [KET \times Slope \times 10\%] + KET \dots\dots\dots(3)$$

Dengan :

KETS = Faktor koreksi kemiringan

KET = Faktor koreksi temperatur dan elevasi

Slope = Besarnya kemiringan

d. Angin permukaan (Surface Wind)

Landasan yang diperlukan lebih pendek bila bertiup angin haluan, sebaliknya bila bertiup angin buritan landasan yang diperlukan lebih panjang. Angin buritan maksimum yang diizinkan bertiup dengan kekuatan 10 knots. Di bawah ini diberikan perkiraan pengaruh angin terhadap landasan:

Tabel 2.10 Perkiraan pengaruh angin terhadap landasan

Kekuatan Angin	Persentasi pertambahan/pengurangan landasan tanpa angin
+5	-3
+10	-5
-5	+7

Sumber : Basuki, H (1986)

e. Kondisi permukaan landasan pacu

Di permukaan landasan pacu yang terdapat genangan tipis (Standing Water) sangat dihindari karena membahayakan operasi pesawat. Standing Water menghasilkan permukaan yang sangat licin bagi roda pesawat membuat daya pengereman sangat jelek. Itu sebabnya drainase lapangan terbang harus baik untuk membuang air permukaan landasan cepat-cepat.

2.6 Landasan Hubung (*Taxiway*)

Landasan gelinding, jalan rayap, atau landas(an) ancang (*taxiway*) adalah jalan penghubung antara landasan pacu dengan pelataran pesawat (*apron*), kandang pesawat (*hangar*), terminal, atau fasilitas lainnya di sebuah bandar udara. Jadi fungsi utama adalah untuk jalan keluar masuk pesawat dari landas pacu ke bangunan terminal atau landas pacu ke hanggar pemeliharaan.

Di bandar udara yang sibuk dimana lalu lintas pesawat taxi diperkirakan bergerak sama banyak dari dua arah, harus dibuat paralel *taxiway* terhadap landasan, untuk taxi satu arah, rutenya dipilih jarak yang terpendek dari bangunan terminal menuju ujung landasan yang dipakai awal lepas landas. Hindarkan sejauh mungkin membuat *taxiway* dengan rute melintas landasan. Kebanyakan *taxiway* dibuat siku – siku dengan landasan, maka pesawat yang akan mendarat harus diperlambat sampai kecepatan yang sangat rendah sebelum belok masuk *taxiway*, bila direncanakan penggunaannya bagi pesawat yang harus cepat keluar maka *taxiway* mempunyai sudut 30° terhadap landasan.

2.6.1 Standar Ukuran *Taxiway*

Pesawat terbang yang bergerak diatas *taxiway* kecepatannya relatif lebih kecil dibandingkan dengan pada waktu pesawat bergerak diatas *runway*, maka lebar di *taxiway* dapat lebih kecil dibandingkan dengan lebar *runway*.

Tabel 2.11 Lebar Taxiway

Kode Huruf	Lebar (m)	Keterangan
A	7,5	-
B	10,5	-
C	15	Untuk pesawat terbang dengan jarak antar as roda depan dengan as roda pendaratan <18 m
	18	Untuk pesawat terbang dengan jarak antar as roda depan dengan as roda pendaratan >18 m
D	18	Untuk pesawat terbang dengan jarak antar as roda depan dengan as roda pendaratan <9 m
	23	Untuk pesawat terbang dengan jarak antar as roda depan dengan as roda pendaratan >9 m
E	23	-
F	25	-

Sumber : Horonjeff, R (1988)

2.6.2 Kemiringan dan Jarak Pandang Taxiway

Tabel 2.12 Kemiringan dan Jarak Pandang Maximum Taxiway

Kode	Kemiringan Memanjang Max	Perubahan Kemiringan Memanjang Max	Jarak Pandang Min	Kemiringan transversal max dari taxiway	Kemiringan transversal max dari bagian yang diratakan pada <i>Strip Taxiway</i>	
					Miring keatas	Miring kebawah
A	3%	1% per 25 m	300 m dari 3 m diatas	2%	3%	5%
B	3%	1% per 25 m	300 m dari 3 m diatas	2%	3%	5%
C	1,5%	1% per 30 m	300 m dari 3 m diatas	1,5%	2,5%	5%
D	1,5%	1% per 30 m	200 m dari 2 m diatas	1,5%	2,5%	5%
E	1,5%	1% per 30 m	150 m dari 1,5 m diatas	1,5%	2,5%	5%

Sumber : Basuki, H., 1986

Catatan :

- Kemiringan transversal dari bagian *strip taxiway* diluar yang diratakan kemiringan keatasnya tidak boleh lebih dari 5%
- Annex 14 tidak mensyaratkan batasan-batasan untuk kemiringan memanjang dari bagian yang diratakan pada bagian *Strip taxiway*.
- Annex 14 mensyaratkan batasan-batasan kemiringan bahu *taxiway*.

2.7 Tempat Parkir Pesawat (*Apron*)

- Apron adalah sarana untuk parkir pesawat dan harus mampu menampung lebih dari dua pesawat dan menyediakan tempat yang cukup sehingga satu pesawat dapat melewati yang lainnya.
- Konfigurasi parkir pesawat berhubungan dengan bagaimana pesawat ditempatkan berkenaan dengan gedung terminal dan manuper pesawat cara memasuki dan keluar dari taxiway. Konfigurasi parkir pesawat faktor yang penting yang mempengaruhi posisi parkir pesawat dan karenanya, mempengaruhi luas daerah apron– pintu. Pesawat dapat ditempatkan dengan berbagai sudut terhadap gedung terminal dan dapat keluar masuk taxiway dengan kekuatan sendiri atau dengan bantuan alat penarik/pendorong. Dengan menggunakan alat penarik/ pendorong pesawat, terdapat kemungkinan untuk mengurangi ukuran posisi parkir. Sebelum memilih konfigurasi parkir dari alternatif-alternatif yang ada, sebaiknya menghubungi dulu perusahaan penerbangan yang bersangkutan agar dapat ditentukan konfigurasi

parkir yang efektif, namun perlu dipertimbangkan juga tujuan untuk melindungi dari hal-hal yang merugikan seperti kebisingan, semburan jet dan cuaca serta biaya-biaya pemeliharaan dan operasi dari peralatan darat yang dibutuhkan.

1) Konfigurasi Parkir Hidung Kedalam

- Dalam konfigurasi hidung kedalam ini (nose-in) pesawat diparkir tegak lurus gedung terminal, dengan hidung pesawat berjarak sedekat mungkin dengan gedung terminal. Pesawat melakukan manuver kedalam posisi parkir tanpa bantuan peralatan penarik. Untuk meninggalkan taxiway, pesawat harus didorong sampai suatu jarak yang cukup untuk memungkinkan pesawat bergerak dengan kekuatan sendiri. Keuntungan dari konfigurasi ini adalah ia membutuhkan daerah di taxiway yang paling kecil untuk sebuah pesawat yang ditentukan, menimbulkan tingkat kebisingan yang lebih rendah karena ia meninggalkan taxiway tidak dengan kekuatan mesin sendiri, tidak menimbulkan semburan jet ke gedung terminal dan memudahkan penumpang naik ke pesawat karena hidung pesawat terletak dekat gedung terminal. Kerugiannya adalah harus disediakan alat pendorong dan pintu belakang pesawat tidak digunakan secara efektif oleh penumpang.

2) Konfigurasi Parkir Hidung ke Dalam Bersudut

- Konfigurasi ini adalah serupa dengan konfigurasi hidung kedalam (nose-in) kecuali bahwa pesawat tidak diparkir tegak lurus gedung terminal. Keuntungannya bahwa pesawat dapat memasuki dan keluar dari taxiway dengan kekuatan sendiri. Meskipun demikian, konfigurasi ini membutuhkan daerah parkir di taxiway yang lebih luas dan menimbulkan kebisingan yang lebih tinggi daripada konfigurasi hidung kedalam.

3) Konfigurasi Parkir Hidung ke Luar Bersudut (Nose – Out)

- Dalam konfigurasi ini, pesawat diparkir dengan hidungnya menjauhi hidung terminal. Seperti konfigurasi hidung kedalam bersudut, keuntungan dari konfigurasi ini adalah pesawat dapat memasuki atau keluar dari taxiway dengan kekuatan mesin sendiri. Konfigurasi seperti ini membutuhkan daerah parkir taxiway yang lebih luas dan menimbulkan kebisingan yang lebih tinggi dari konfigurasi hidung kedalam.

4) Konfigurasi Parkir Sejajar (Parallel)

- Konfigurasi ini yang paling mudah di pandang dari sudut manuver pesawat. Dalam hal ini kebisingan dan semburan jet dikurangi, karena tidak diperlukan gerakan memutar yang tajam. Meskipun demikian, konfigurasi ini membutuhkan daerah parkir di taxiway yang lebih besar, terutama di sepanjang permukaan gedung terminal. Keuntungan lain dari konfigurasi ini adalah bahwa baik pintu depan

maupun pintu belakang pesawat digunakan oleh penumpang untuk naik ataupun turun dari pesawat, walaupun dibutuhkan jembatan untuk penumpang yang relatif panjang. Untuk perencanaan, semua keuntungan dan kerugian dari sistem yang berbeda harus di evaluasi dengan mempertimbangkan kepentingan perusahaan penerbangan yang akan menggunakan taxiway. Meskipun demikian, parkir hidung kedalam cenderung di pilih karena dapat menghemat tempat dan mengurangi kebisingan serta semburan jet. Dari pengalaman menggunakan mesin sendiri untuk keluar dari posisi hidung ke dalam, didapat penghematan dalam biaya-biaya operasi dan pemeliharaan bagi peralatan penunjang di darat

2.7.1 Waktu Pemakaian Pada *Apron*

Lamanya suatu pesawat untuk melakukan aktifitas pada *apron*, tergantung pada ukuran pesawat dan tipe operasi. Selain itu waktu penggunaan *apron* juga sangat bergantung pada tipe pemerosesan penumpang baik dengan menggunakan *oviobridge* atau menggunakan mobil. suatu pesawat pada penerbangan terusan hanya membutuhkan sedikit layanan atau tanpa pelayanan sama sekali sehingga waktu penggunaan *apron* hanya berkisar 20-30 menit, sebaliknya untuk pesawat pada penerbangan pulang pergi akan membutuhkan pemakaian *apron* berkisar 40-60 menit.

2.7.2 Parameter Analisis Kebutuhan *Apron*

Rumus yang digunakan untuk analisis kebutuhan *apron* adalah :

$$G = \frac{V \times T}{\mu} \dots\dots\dots(4)$$

Dengan :

G= jumlah pesawat yang diparkir di *apron*

V= jumlah pergerakan pesawat pada jam sibuk

T = waktu pesawat menempati lahan parkir (30-60 menit)

μ =Faktor penggunaan

2.7.3 Perhitungan Perencanaan *Apron*

a. Jumlah *Gate Position*

Untuk mengetahui jumlah *gate position* di tahun rencana dilakukan degan metode perbandingan jumlah pergerakan pesawat di tahun yang ditinjau dengan jumlah pergerakan pesawat dan jumlah *gate position* yang digunakan di tahun ini. Selain menghitung dengan metode *forecasting* perlu dilkukan perhitungan perbandingan dengan beberapa metode salah satunya adalah metode Horonjeff.

b. Perhitungan Dimensi *Apron*.

Dalam melakukan desain dimensi *apron* terdapat beberapa hal yang harus diperhatikan karena hal-hal ini menjadi dasar acuan perhitungan dimensi *Apron* namun yang paling diutamakan adalah karakteristik pesawat rencana.

Dalam menentukan dimensi terminal *apron* harus diperhatikan faktor di bawah ini :

- a. Jumlah, jenis, karakteristik dan kemampuan manuver pesawat terbang.
- b. *Clearance distance requirement*.
- c. Cara pesawat terbang keluar/masuk *aircraft stand*.
- d. Konsep dasar tata letak terminal *apron* yang dipilih.

Faktor-faktor diatas dapat dijelaskan sebagai berikut:

a. Jumlah dan jenis pesawat

Jumlah jenis pesawat terbang penumpang didapat dari prediksi lalu lintas udara (*air traffic forecast*). Dalam menentukan dimensi terminal *apron* yang digunakan adalah jumlah/jenis pesawat pada jam sibuk sedangkan dalam menentukan dimensi *cargo apron* yang digunakan adalah jumlah/jenis pesawat terbang rata-rata harian pada bulan tersibuk (*average day activity of the peak month*).

b. Karakteristik pesawat

Karakteristik pesawat terbang yang harus diperhitungkan dalam menentukan dimensi *apron* adalah *length*, *wingspan*, *wheel base* dan *turning radius*.

c. *Clearance distance requirement*.

Minimum *clearance distance* antar pesawat terbang yang parkir di *aircraft stand* atau dengan obyek lain, dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2.13 Minimum Clearance and Separation Distance

Code Letter	Minimum Clearance Distance (m)	Aircraft Stand Taxilane centerline To Object (m)	Apron Taxiway Centerline To Object (m)
A	3.00	12.00	13.50
B	3.00	16.50	19.50
C	4.50	24.50	28.50
D	7.50	36.00	42.50
E	7.50	40.00	46.50

Sumber : *Aerodrome Design Manual, Part 2 Taxiways, Apron and Holding Buys (2014)*

d. Cara pesawat terbang masuk ke *aircraft stand* :

Ada dua cara pesawat masuk ke *aircraft stand* dan hal ini mempengaruhi dimensi *apron*.

1. *Self maneuvering.*

Masuk dan keluar dari *aircraft stand* menggunakan mesinnya sendiri. Tidak diperlukan tambahan personal maupun alat, tetapi akan menghasilkan *apron* yang lebih luas.

2. *Tractor Assisted.*

Disini perlu alat tambahan *tractor* serta tambahan personal: operator *tractor* .

e. *Aircraft Ground Servicing.*

Untuk melayani penumpang dengan sempurna, pesawat terbang perlu di servis pada saat parkir. Maka perlu disediakan lahan di sekeliling pesawat terbang untuk kendaraan *ground service* tersebut.

f. *Apron Taxiways and Service Roads.*

Dalam merancang dimensi *apron* perlu diperhatikan kebutuhan lahan untuk *manuver* pesawat terbang maupun *manuver ground car*, agar bisa menghemat luas *apron*.

Perhitungan luas *Apron* dapat dihitung dengan menggunakan rumus berdasarkan FAA sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Luas Apron} &= \text{panjang apron} \times \text{lebar apron} \dots \dots \dots (5) \\ &= (G \times (W + (0,1 \times W) + Cw)) \times (L + Cb + Asv + P)\end{aligned}$$

Dimana :

L = Panjang badan pesawat

W = Bentang sayap pesawat

Cb = Area bebas antar ujung pesawat dengan gedung terminal

Cw = Area batas antar ujung sayap pesawat

Asv = Area bebas untk mobil service pesawat

P = Area traktor sebagai alat bantu *push-out* pesawat

2.8 Proyeksi Lalu Lintas Udara

Proyeksi lalu lintas udara dibuat untuk memprediksi volume penumpang dan barang yang akan dilayani bandara pada tahun yang direncanakan. Proyeksi lalu lintas udara tergantung dari beberapa variable yaitu jumlah penduduk, volume kargo, jumlah wisatawan dan keadaan sosial lainnya.

Proyeksi lalu lintas udara dapat digunakan untuk perencanaan pengembangan suatu lapangan terbang antara lain dalam hal :

- Menentukan ukuran bandara dan tipe pengembangan fasilitas eksisting atau fasilitas baru.

- Menentukan kebutuhan kapasitas *airfield*, *passenger terminal*, *general aviation area*, dan *ground access system*.
- Mengevaluasi potensi efek lingkungan seperti kebisingan dan polusi udara pada lokasi di sekitar lokasi operasi bandara.

Metode pengembangan proyeksi lalu lintas yang dilakukan berupa analisis data dan diikuti dengan pengambilan keputusan. Umumnya, data aktivitas penerbangan terdahulu dianalisis untuk mengidentifikasi tren masa lalu untuk meramalkan tren aktivitas di masa depan. Adapun data yang digunakan pada proyeksi lalu lintas udara adalah sebagai berikut:

- Jumlah penumpang
- Volume Kargo
- Jumlah penduduk
- Jumlah wisatawan
- PDRB (Produk Domestik Regional Bruto)

Analisis data dilakukan dengan membuat korelasi antar data penumpang dan kargo dengan jumlah penduduk, jumlah wisatawan, dan PDRB. Hubungan korelasi ini kemudian dinyatakan dalam suatu persamaan regresi.

Ada tiga jenis regresi yang sering digunakan yaitu :

1. Regresi linier, dimana sepanjang variabel X,Y digambarkan pada grafik 2 dimensi, nilai dari satu variabel dapat bergantung pada variabel yang lain. Secara umum Y akan bergantung pada X.
Persamaannya : $E(Y | X = x) = \alpha + \beta x$(6)
2. Regresi non-linier, dimana regresi didasarkan pada fungsi yang diasumsikan non-linier dengan koefisien-koefisien tak tertentu yang akan dihitung dari data pengamatan.
Persamaannya : $E(Y | X = x) = \alpha + \beta g(x)$(7)
3. Regresi multilinier, dimana nilai dari suatu variabel tergantung dari beberapa faktor. Asumsi dasar yang digunakan yaitu sebagai berikut :
 - Nilai rata-rata Y merupakan fungsi linier dari $x_1, x_2, \dots, x_m$.
 - $x_1, x_2, \dots, x_m$ yang diketahui adalah konstan atau berbanding lurus terhadap fungsi yang diketahui.

Maka analisis regresi menentukan taksiran untuk $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m$ berdasarkan himpunan data pengamatan dapat ditulis sebagai berikut :

$$E(Y | X = X_1, X_2, \dots, X_m) = \alpha + \beta_1 (X_1) + \dots + \beta_m (X_m) \dots \dots \dots (8)$$

Dalam perencanaan ini diambil tingkat pertumbuhan moderat. Selain itu dilakukan perhitungan prediksi lalu lintas pada jam puncak selama masa layan bandara. Prediksi lalu lintas pergerakan pada jam puncak ini hanya memperhitungkan jumlah penumpang yang terjadi menurut rute yang dilayani pada masing-masing tahap perencanaan.

2.8.1 Proyeksi Pergerakan Penumpang dan Kargo

Proyeksi jumlah penumpang dan kargo dilakukan dengan menggunakan analisis regresi multiliner, aritmatik, dan geometik. Selanjutnya, dilakukan proyeksi jumlah penduduk, wisatawan, dan PDRB sampai tahun rencana.

2.8.1.1 Metode Regresi Multilinear

Regresi multilinear adalah suatu metode dimana nilai dari suatu variable rekayasa tergantung dari beberapa faktor pendukung. Asumsi yang digunakan adalah :

- Nilai rata-rata Y adalah fungsi linear dari X_1, X_2, X_3, X_m .
- X_1, X_2, X_3, X_m adalah konstan atau berbalik lurus terhadap fungsi yang diketahui.

Tabel 2.14 Variabel Bebas Pendukung

Penumpang	Kargo	Penduduk	Wisatawan	PDRB	Hotel
Y_1	Y_2	X_1	X_2	X_3	X_4

Perhitungan dalam metode regresi multilinear menggunakan rumus :

$$i_n = \frac{P_n - P_{n-1}}{P_n} \dots \dots \dots (9)$$

dimana nilai P merupakan jumlah penduduk, wisatawan, PDRB atau hotel.

$$P_t = P_0 \times (1 + i)^n \dots \dots \dots (10)$$

Ket : P_t = Nilai Proyeksi

P_0 = Data tahun sebelumnya

i = Nilai pertumbuhan dari setiap variable

Setelah didapatkan nilai proyeksi, maka langkah selanjutnya adalah mencari nilai korelasi. Untuk mencari nilai korelasi dapat menggunakan rumus Correl yang terdapat pada Microsoft Excel. Tujuannya adalah untuk mencari nilai hubungan antara variabel penumpang, kargo, penduduk, wisatawan, PDRB dan Hotel yang mempunyai keterkaitan atau tidak. Jika di antara variabel tersebut bernilai negatif, maka variabel tersebut tidak memiliki keterkaitan dalam perhitungan proyek penumpang dan kargo tersebut.

Kemudian dicari persamaan regresi dengan menggunakan aplikasi SPSS 16.0, sehingga didapatkan persamaan proyeksi penumpang dan kargo yaitu sebagai berikut :

$$\text{Volume penumpang atau kargo} = (\text{Koefisien penduduk} \times \text{jumlah penduduk}) + (\text{Koefisien wisatawan} \times \text{jumlah wisatawan}) + (\text{Koefisien PDRB} \times \text{jumlah PDRB}) + (\text{Koefisien hotel} \times \text{jumlah hotel}) + \text{Intercept} \dots \dots \dots (11)$$

Pada analisis regresi multilinear, ada beberapa hal yang perlu dilakukan sebelum memperoleh nilai proyeksi jumlah penumpang dan volume kargo untuk tahun rencana.

1. Mengetahui hubungan atau korelasi antar masing-masing variable. Jika korelasi bernilai negatif, maka variable bebas tersebut dianggap tidak memiliki hubungan dengan variable terkait yang ditentukan.
2. Mencari nilai koefisien untuk masing-masing variable bebas pada fungsi untuk menentukan nilai variable terikat. Variable yang dimasukan dalam fungsi adalah variable yang bernilai positif.
3. Menentukan formula untuk mengetahui besarnya nilai variable terikat dengan menggunakan koefisien dan konstanta yang diperoleh saat menentukan nilai regresi.
4. Memproyeksikan besar variable bebas yang digunakan.

2.8.1.2 Metode Arimatik

Model linear Aritmatik menurut Klosterman (1990) adalah teknik proyeksi yang paling sederhana dari seluruh model trend. Model ini menggunakan persamaan derajat pertama (*first degree equation*). Berdasarkan hal tersebut, penduduk diproyeksikan sebagai fungsi dari waktu, dengan persamaan:

$$P_n = P_0 + n.r \dots \dots \dots (12)$$

$$r = \frac{(P_n - P_0)}{n} \dots \dots \dots (13)$$

Keterangan :

- P_n = Jumlah Penumpang yang diproyeksi pada tahun ke-n
- P_0 = Jumlah Penumpang pada awal tahun / tahun ke-0
- r = Pertumbuhan penumpang dalam 1 tahun
- n = Jumlah tahun / banyak tahun penelitian

Setelah didapatkan nilai proyeksi, maka langkah selanjutnya adalah mencari nilai korelasi. Untuk mencari nilai korelasi dapat menggunakan rumus Correl yang terdapat pada Microsoft Excel. Tujuannya adalah untuk mencari nilai hubungan antara variabel penumpang, kargo, penduduk, wisatawan, PDRB dan Hotel yang mempunyai keterkaitan

atau tidak. Jika di antara variabel tersebut bernilai negatif, maka variabel tersebut tidak memiliki keterkaitan dalam perhitungan proyek penumpang dan kargo tersebut.

Kemudian dicari persamaan regresi dengan menggunakan aplikasi SPSS 16.0, sehingga didapatkan persamaan proyeksi penumpang dan kargo yaitu sebagai berikut :

$$\text{Volume penumpang atau kargo} = (\text{Koefisien penduduk} \times \text{jumlah penduduk}) + (\text{Koefisien wisatawan} \times \text{jumlah wisatawan}) + (\text{Koefisien PDRB} \times \text{jumlah PDRB}) + (\text{Koefisien hotel} \times \text{jumlah hotel}) + \text{Intercept} \dots \dots \dots (14)$$

2.8.1.3 Metode Geometrik

Asumsi dalam model ini adalah penduduk akan bertambah/berkurang pada suatu tingkat pertumbuhan yang tetap. Misalnya, jika P_{t+1} dan P_t adalah jumlah penduduk dalam tahun yang berurutan, maka penduduk akan bertambah atau berkurang pada tingkat pertumbuhan yang tetap (yaitu sebesar P_{t+1} / P_t) dari waktu ke waktu. Menurut Klosterman (1990), proyeksi dengan tingkat pertumbuhan yang tetap ini umumnya dapat diterapkan pada wilayah, dimana pada tahun-tahun awal observasi pertambahan absolut penduduknya sedikit dan menjadi semakin banyak pada tahun-tahun akhir.

$$P_n = P_o \times (1 + r)^n \dots \dots \dots (15)$$

$$r = \left(\frac{P_n}{P_o} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \dots \dots \dots (16)$$

Keterangan :

- P_n = Jumlah penumpang yang diproyeksi tahun ke-n
- P_o = Jumlah penumpang pada awal tahun ke-0
- r = Pertumbuhan penumpang dalam 1 tahun
- n = Jumlah tahun/banyak tahun penelitian

Setelah didapatkan nilai proyeksi, maka langkah selanjutnya adalah mencari nilai korelasi. Untuk mencari nilai korelasi dapat menggunakan rumus Correl yang terdapat pada Microsoft Excel. Tujuannya adalah untuk mencari nilai hubungan antara variabel penumpang, kargo, penduduk, wisatawan, PDRB dan Hotel yang mempunyai keterkaitan atau tidak. Jika di antara variabel tersebut bernilai negatif, maka variabel tersebut tidak memiliki keterkaitan dalam perhitungan proyek penumpang dan kargo tersebut.

Kemudian dicari persamaan regresi dengan menggunakan aplikasi SPSS 16.0, sehingga didapatkan persamaan proyeksi penumpang dan kargo yaitu sebagai berikut :

$$\text{Volume penumpang atau kargo} = (\text{Koefisien penduduk} \times \text{jumlah penduduk}) + (\text{Koefisien wisatawan} \times \text{jumlah wisatawan}) + (\text{Koefisien PDRB} \times \text{jumlah PDRB}) + (\text{Koefisien hotel} \times \text{jumlah hotel}) + \text{Intercept} \dots \dots \dots (17)$$

2.8.2 Pemilihan Metode

Dari ketiga metode yang telah dikerjakan, harus ditentukan satu metode yang paling mewakili pola pertumbuhan penduduk pada wilayah perencanaan. Untuk menentukan metode yang paling mewakili, diperlukan perhitungan factor korelasi dan standar deviasi.

Perhitungan faktor korelasi dan standar deviasi dapat dilakukan dengan menganalisa dan membandingkan data yang tersedia dengan data data dari perhitunganmetode proyeksi yang digunakan. Faktor korelasi dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$r^2 = \frac{(Pn-Pr)^2 - (Pn-P)^2}{(Pn-Pr)^2} \dots \dots \dots (18)$$

Keterangan :

r^2 = Faktor korelasi

P_n = Jumlah Penduduk Pada Tahun ke-n

P_r = Rata-rata jumlah penduduk dari data yang diketahui

P = Estimasi jumlah penduduk berdasarkan perhitungan metode yang dilakukan.

Kriteria korelasi adalah sebagai berikut:

1. $r < 0$, kedua data memiliki korelasi kuat dan memiliki hubungan positif yang berbanding lurus satu sama lain.
2. $r = 0$, kedua data tidak berkorelasi
3. $r > 0$, kedua data memiliki korelasi kuat dan memiliki hubungan positif yang berbanding lurus satu sama lain.

Sedangkan persamaan standar deviasi dirumuskan persamaan matematis berikut:

$$STD = \left[\frac{\sum (Pn-P)^2 - (\sum (Pn-P)^2 / n)}{n} \right]^{1/2} \dots \dots \dots (19)$$

Dimana: STD = Standar deviasi dari data yang diketahui

n = Jumlah data yang diketahui

2.8.3 Modulasi Pergerakan Pesawat

Hasil proyeksi penumpang dan kargo selanjutnya digunakan untuk meramalkan pergerakan pesawat dalam lalu lintas harian maupun lalu lintas pada jam puncak. Lalu lintas harian diperoleh dari data jumlah penumpang ataupun kargo tahunan dibagi 365 hari. Jumlah pesawat yang beroperasi diperoleh dari data bandara setempat. Kapasitas pesawat dikalikan dengan load faktor sebesar 75 %. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan rumus :

$$\text{Volume penumpang mingguan} = \frac{\text{Volume penumpang tahunan skenario mendarat}}{52} \dots(20)$$

$$\text{Total pergerakan 1 minggu} = (\text{LF} \times \text{kapasitas penumpang}) \times \text{jumlah pergerakan pesawat} \dots(21)$$

Total pergerakan pesawat dalam 1 hari diperoleh dengan menggunakan iterasi antara jumlah dari load factor x kapasitas tiap pesawat x jumlah setiap jenis pesawat. Iterasi dilakukan sampai total pergerakan > volume penumpang harian.

$$\text{Koefisien jam puncak} = \frac{1,38}{\sqrt{\text{Total pergerakan pesawat dalam 1 minggu}}} \dots(22)$$

$$\text{Volume jam puncak} = \text{koefisien jam puncak} \times \text{volume penumpang mingguan} \dots(23)$$

$$\text{Total pergerakan pesawat jam puncak} = \frac{\text{volume jam puncak}}{\text{load factor} \times \text{kapasitas penumpang}} \dots(24)$$

2.9 Tebal Perkerasan Fleksibel

Perkerasan Fleksibel adalah perkerasan yang dibuat dari campuran aspal dan agregat, digelar di atas suatu permukaan material granular bermutu tinggi. Perkerasan fleksibel terdiri dari lapisan-lapisan sub grade, sub base course, base course, dan surface course, masing-masing bisa satu lapis atau lebih. Adapun struktur lapisan perkerasan lentur sebagai berikut:

1. Tanah dasar (sub grade)

Tanah dasar pada perencanaan tebal perkerasan akan menentukan kualitas konstruksi perkerasan sehingga sifat-sifat tanah dasar akan menentukan kekuatan dan keawetan konstruksi landasan pacu. Banyak metode yang digunakan untuk menentukan daya dukung tanah dasar seperti CBR (California Bearing Ratio), MR (Resilient Modulus), dan K (Modulus Reaksi Tanah Dasar). Di Indonesia daya dukung tanah dasar untuk

kebutuhan perencanaan tebal lapisan perkerasan ditentukan dengan menggunakan pemeriksaan CBR.

2. Lapisan Pondasi Bawah (Sub Base Course)

Lapisan pondasi bawah adalah bagian dari konstruksi perkerasan landasan pacu yang terletak di antara tanah dasar (Sub Grade) dan lapisan pondasi atas (Base Course). Menurut Horonjeff dan Mc Kelvey (1993), fungsi lapisan pondasi bawah adalah sebagai berikut:

- Bagian dari konstruksi perkerasan yang telah mendukung dan menyebarkan beban roda ke tanah dasar
- Mencapai efisiensi penggunaan material yang murah agar lapisan-lapisan selebihnya dapat dikurangi tebalnya
- Untuk mencegah tanah dasar masuk kedalam lapisan pondasi atas

3. Lapisan Pondasi Atas (Base Course)

Lapisan pondasi atas adalah bagian dari perkerasan landasan pacu yang terletak diantara lapisan pondasi bawah dan lapisan permukaan. Fungsi lapisan pondasi atas adalah sebagai berikut:

- Bagian perkerasan yang menahan gaya lintang dari beban roda dan menyebarkan beban lapisan dibawahnya.
- Lapisan peresapan untuk lapisan pondasi bawah
- Bantalan terhadap lapisan pondasi bawah

4. Lapisan Permukaan (Surface Course)

Lapisan permukaan adalah lapisan yang terletak paling atas. Lapisan ini berfungsi sebagai berikut:

- Lapisan perkerasan penahan roda, lapisan yang mempunyai stabilitas tinggi untuk menahan beban roda
- Lapisan kedap air, sehingga air hujan yang jatuh diatasnya tidak meresap ke lapisan di bawahnya
- Lapisan aus (wearing course), lapisan yang langsung menderita gesekan akibat rem sehingga mudah menjadi aus
- Lapisan yang menyebarkan beban ke lapisan bawahnya, sehingga lapisan bawah yang memikul daya dukung lebih kecil akan menerima beban yang kecil juga.

2.9.1 Perkerasan Fleksibel Metode FAA (*Federal Aviation Administration*)

Metode FAA mulai dikenal pada tahun 1968 kemudian berkembang pada tahun 1978. Metode FAA merupakan salah satu metode perhitungan yang dipakai dalam merencanakan lapisan perkerasan landasan pacu bandar udara yang telah diakui oleh *International Civil Aviation Organization* (ICAO) dalam *aerodrome* manualnya.

Dalam rancangan lalu lintas pesawat, perkerasan harus melayani beragam macam pesawat yang memiliki tipe roda pendaratan berbeda-beda dan berlainan beratnya. Pengaruh dari semua jenis moda lalu lintas harus dikonversikan ke dalam pesawat rencana dengan *Equivalent Annual Departure* dari pesawat campuran. Berikut adalah rumus konversinya:

$$R_2 = \text{Pergerakan pesawat tahunan} \times \text{Faktor konversi roda pendaratan} \dots\dots\dots(25)$$

$$W_2 = P \times \text{MTOW} \times \frac{1}{n} \dots\dots\dots(26)$$

$$W_1 = P \times \text{MTOW} \times \frac{1}{n} \dots\dots\dots(27)$$

$$\log R_1 = \log R_2 \left(\frac{W_2}{W_1} \right)^{1/2} \dots\dots\dots(28)$$

Dimana:

R1 = Equivalent annual departure pesawat rencana

R2 = Annual departure pesawat campuran dinyatakan dalam roda pendaratan pesawat rencana

W1 = Beban roda pesawat rencana

W2 = Beban roda pesawat yang dikonversikan

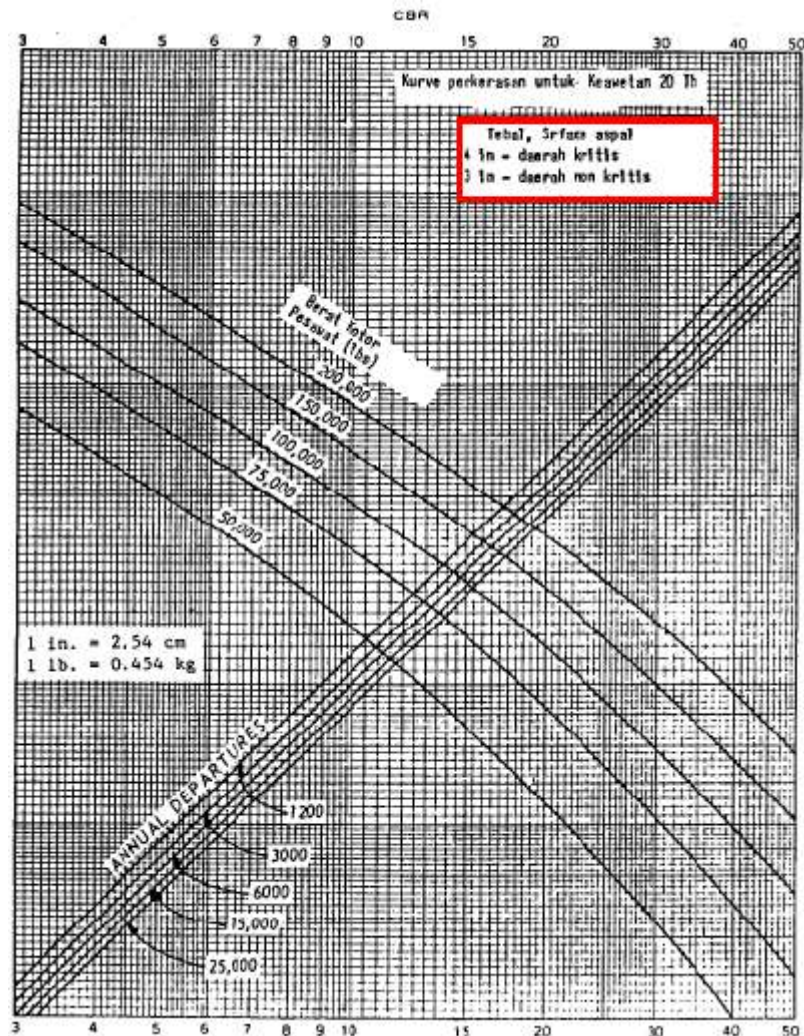
P = Persentase beban yang diterima roda pendaratan (0,95)

MTOW = Berat maksimum pesawat pada saat lepas landas

n = Jumlah roda pendaratan utama

a. Tebal Permukaan

Tebal permukaan pada peraturan FAA ditentukan sebesar 4 inchi = 11 cm untuk daerah kritis. Sedangkan untuk daerah non-kritis tebal permukaan adalah sebesar 3 inchi = 8 cm. Seperti pada gambar 2.8 berikut ini :

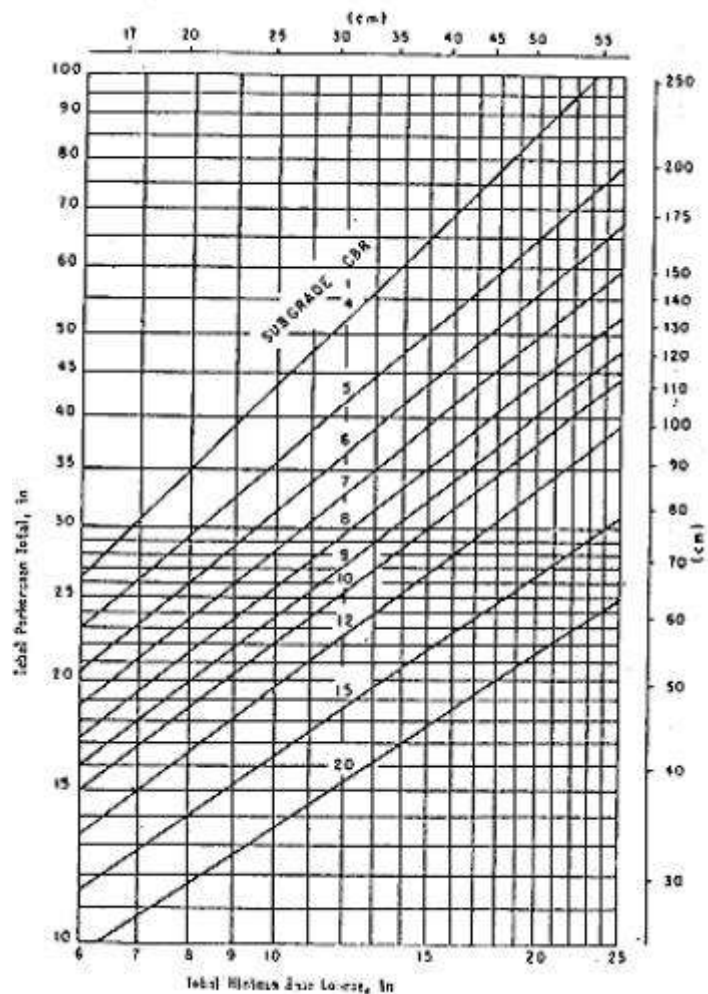


Gambar 2.8 Kurva rencana perkerasan lentur untuk daerah kritis

Sumber : Merancang dan Merencana Lapangan Terbang (Heru Basuki, 1986)

b. Tebal minimum base course

Base course merupakan lapisan kedua setelah lapisan permukaan pada perkerasan runway. Tebal minimum base course yang dipakai dalam merencanakan perkerasan harus dicek pada gambar 2.9 agar perkerasan dapat berfungsi dengan baik dan efektif.



Gambar 2.9 Tebal minimum base course yang diperlukan

Sumber : Merancang dan Merencana Lapangan Terbang (Heru Basuki, 1986)

2.9.2 Perkerasan Fleksibel Metode LCN (*Load Classification Number*)

Metode LCN merupakan metode perencanaan perkerasan dan evaluasi serta formulasi dari Air Ministry Directorate General of Work, British Aviation yang saat ini sudah diakui ICAO dalam *Aerodrome Manual*. Kapasitas daya dukung perkerasan dinyatakan dalam angka LCN. Angka-angka LCN bergantung pada roda pendaratan, tekanan roda pesawat, dan komposisi dari tebal perkerasan. Bila angka LCN perkerasan lebih besar dari LCN pesawat maka pesawat dapat mendarat dengan baik. Sebaliknya angka LCN perkerasan lebih kecil dari LCN pesawat maka pesawat tidak dapat mendarat sehingga perkerasan perlu di overlay atau di desain ulang. Untuk mendapatkan sistem kapasitas perkerasan dapat dinyatakan dengan angka tunggal, maka dibuatlah kurva klasifikasi standard beban. Secara matematis dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\frac{W1}{W2} = \left(\frac{A1}{A2} \right)^{0,27} \dots\dots\dots(29)$$

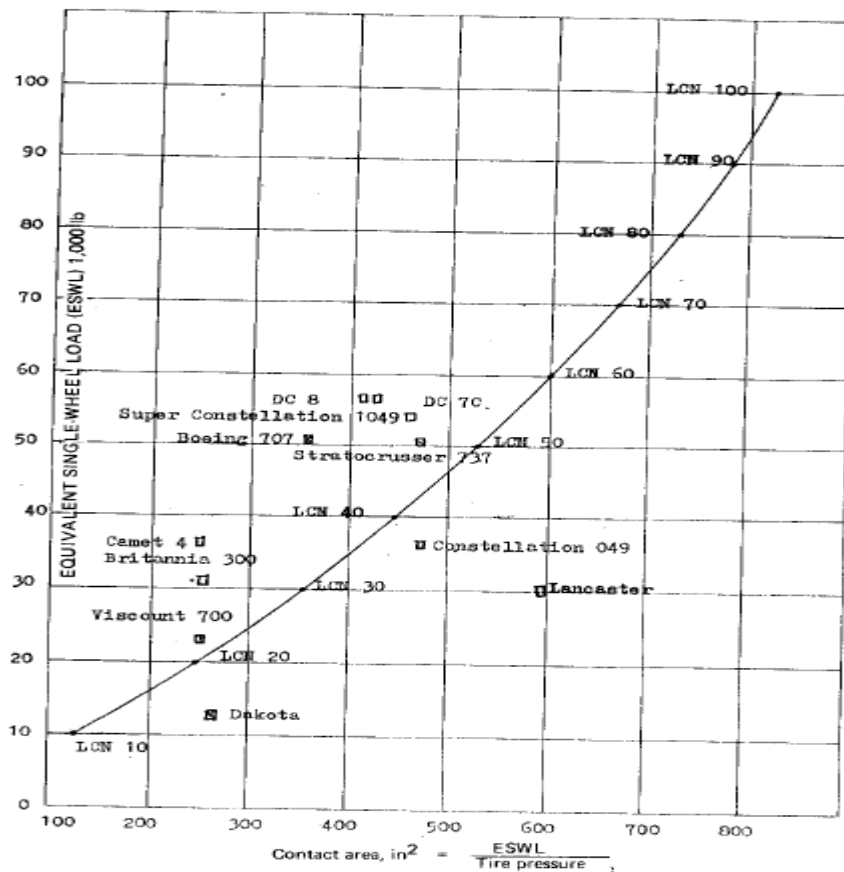
Dimana :

W1 dan W2 = Beban runtuh masing-masing

A1 dan A2 = Area yang dibebani masing-masing

a. Kurva klasifikasi standard beban ICAO

Kurva klasifikasi standard beban ICAO digunakan untuk mendapatkan nilai kontak area pesawat rencana dengan cara memplotkan nilai tekanan roda pesawat di sumbu x grafik lalu plot berat rencana yang dikonversikan (ESWL) di sumbu y.



Gambar 2.10 Kurva klasifikasi standard beban ICAO

Sumber : Merancang dan Merencana Lapangan Terbang (Heru Basuki, 1986)

b. Menentukan Gear loads

Dalam merencanakan kekuatan landasan, dianggap bahwa 5 % beban diberikan kepada nose gear sedangkan yang 95 % dibebankan kepada main gear. Rumus menentukan nilai Gear loads adalah sebagai berikut:

$$\text{Gear loads} = 95\% \times \frac{MTOW}{\text{Jumlah roda pendaratan}} \dots\dots\dots(30)$$

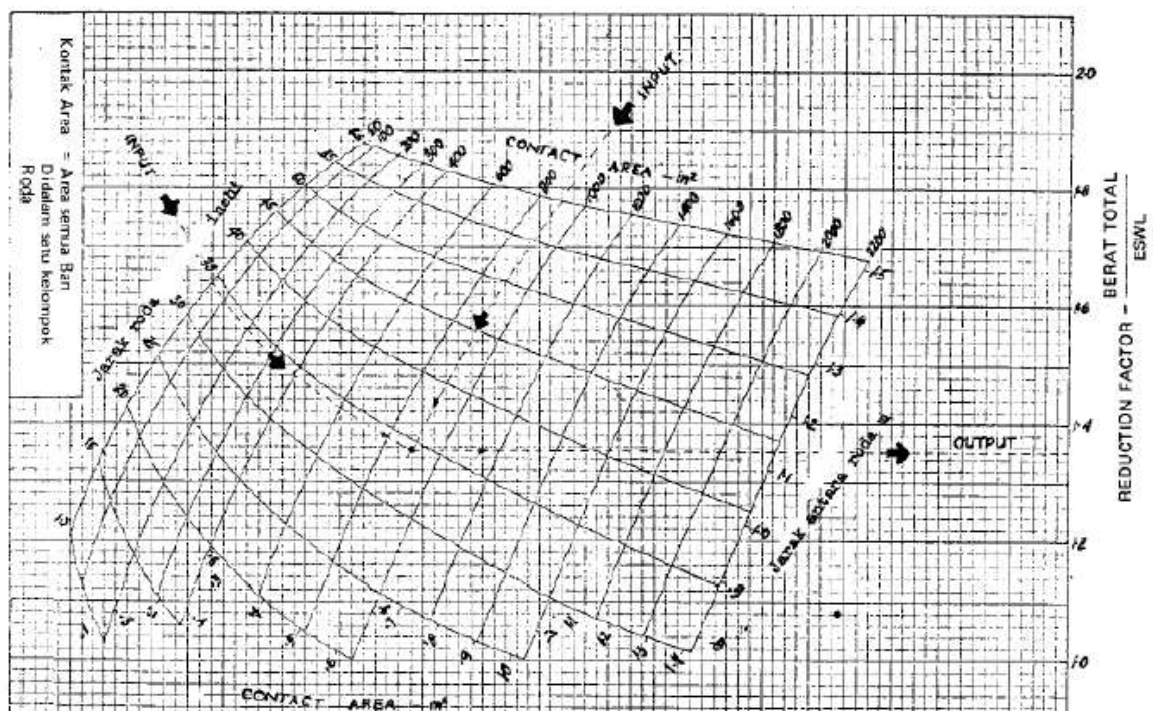
c. Menentukan kontak area ban

Kontak area ban dapat dihitung dengan cara membagi gear loads dengan besarnya tekanan ban tipe pesawat tertentu. Rumus menentukan nilai kontak area ban sebagai berikut:

$$\text{Kontak area ban} = \frac{\text{Gear Loads}}{\text{Tekanan Roda}} \dots\dots\dots(31)$$

d. Menentukan nilai RF (Reduction Factor)

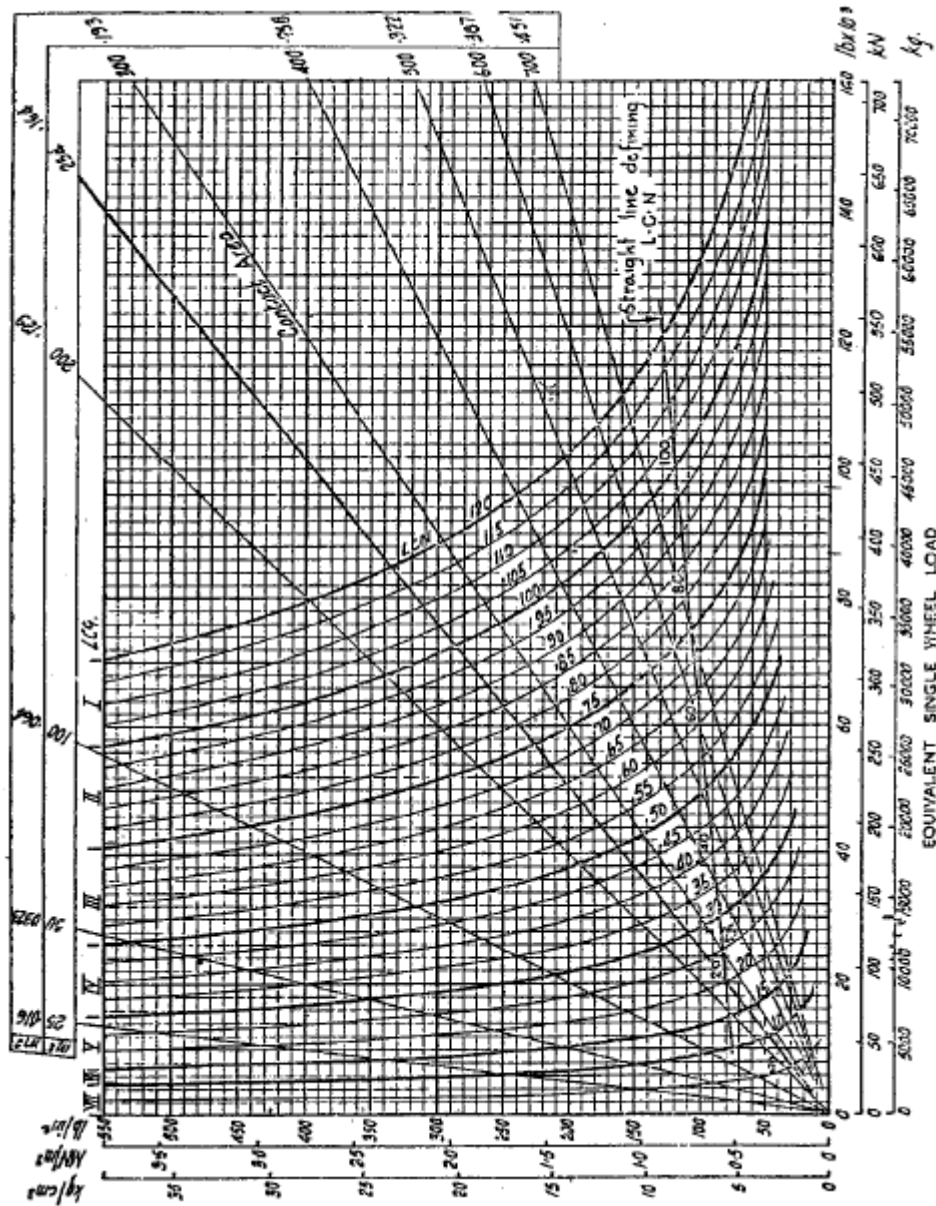
Nilai RF merupakan angka keamanan yang dihitung untuk perkerasan runway. Nilai ini dapat dihitung dalam gambar 2.11 dan 2.12



Gambar 2.11 Kurva menentukan nilai RF untuk pesawat dual wheel

Sumber : Merancang dan Merencana Lapangan Terbang (Heru Basuki, 1986)

atas. Garis pertemuan ini merupakan LCN *runway* sementara. Nilai ini harus dikalikan 1,5 sebagai batas aman *runway*.

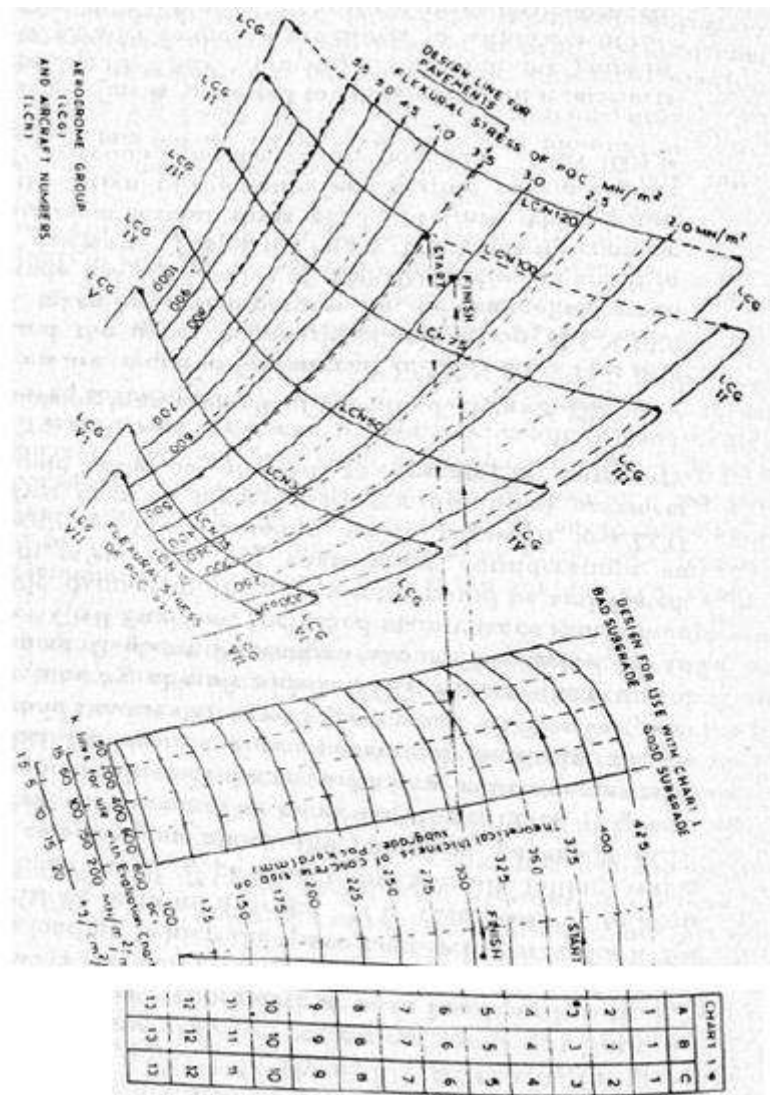


Gambar 2.13 Kurva Nilai LCN runway

Sumber : Merancang dan Merencana Lapangan Terbang (Heru Basuki, 1986)

h. Menentukan tebal perkerasan

Dalam menentukan tebal perkerasan digunakan batas teratas LCG terpilih, lalu memplotkannya ke dalam grafik seperti pada gambar 2.14



Gambar 2.14 Kurva penentuan tebal perkerasan metode LCN

Sumber : Merancang dan Merencana Lapangan Terbang (Heru Basuki, 1986)

Setelah memasukkan data-data nilai K dan *flexural strength* maka diperoleh daftar tabel dengan nilai tebal perkerasan LCN pada gambar 2.15 berikut

CHART 1 Recommended Aircraft Pavements				CHART 2 For Evaluation only of Existing Pavements			
S. No	A	B	C	S. No.	A	B	C
1	425 100	100 250 100	100 700 100	1	500	100 425	100 1175
2	425 100	100 240 100	100 650 100	2	475	100 400	100 1100
3	400 100	100 220 100	100 600 100	3	450 100	100 375	100 1025
4	375 100	100 200 100	100 550 100	4	425	100 350	100 950
5	350 100	100 180 100	100 500 100	5	400	100 325	100 875
6	325 100	100 160 100	100 450 100	6	375	100 300	100 800
7	300 100	100 140 100	100 400 100	7	350	100 275	100 725
8	275 100	100 120 100	100 350 100	8	325	100 250	100 650
9	250 100	100 100 100	100 300 100	9	300	100 225	100 575
10	225 100	100 100 100	100 250 100	10	275	100 200	100 500
11	200 100	100 100 100	100 200 100	11	250	100 175	100 425
12	175 100	100 100 100	100 150 100	12	225	100 150	100 350
13	150 100	100 100 100	100 150 100	13	200	100 150	100 250

Gambar 2.15 Nilai Tebal Perkerasan metode LCN

Sumber : Merancang dan Merencana Lapangan Terbang (Heru Basuki, 1986)

i. Menentukan LCN pesawat

LCN pesawat merupakan nilai LCN yang didapatkan dari perhitungan grafik yang bersumber dari perusahaan pembuat pesawat terbang. Nilai LCN pesawat yang didapatkan harus lebih kecil dibandingkan nilai LCN runway. Grafik pesawat yang dipakai untuk menghitung nilai LCN pesawat merupakan grafik pesawat dengan berat ESWL terbesar dan tekanan ban yang maksimum diantara pesawat yang ada.

2.10 Perkerasan Kaku Metode FAA (*Federal Aviation Administration*)

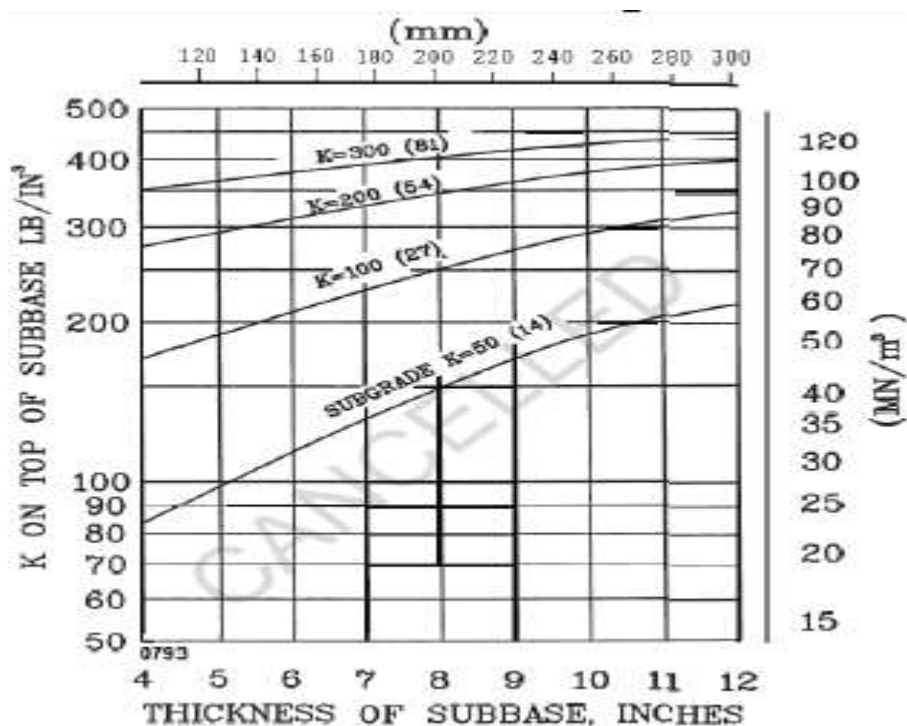
Parameter-parameter yang digunakan dalam metode FAA pada Advisory Circular No. 150/5320-6D untuk merencanakan perkerasan kaku meliputi berat lepas landas kotor pesawat terbang, konfigurasi, dan ukuran roda pendaratan. Perkerasan pada *apron* Bandar Udara sebagian besar menggunakan perkerasan kaku. Dalam perancangan ini digunakan metode FAA (*Federal Aviation Administration*). Hal yang perlu diperhatikan dalam mendesain perkerasan kaku menggunakan metode FAA adalah sebagai berikut :

1. Modulus Reaksi Tanah Dasar

Bahan tanah dasar di bawah perkerasan kaku harus dipadatkan untuk mendapatkan stabilitas yang cukup dan dukungan yang merata terhadap beban. Kekuatan tanah dasar yang diperlukan dalam perancangan perkerasan kaku adalah nilai modulus tanah dasar (k). Modulus reaksi tanah dasar (k) didasarkan pada pengklasifikasian kondisi suatu tanah dasar yang diperlukan dalam perencanaan perkerasan kaku. Dalam hal ini nilai k digunakan pada lapis *subgrade* dan *subbase* untuk mencari ketebalan dari lapisan tersebut.

Subgrade K didapatkan dengan persamaan :

$$K = \left[\frac{1500 \times \text{CBR}}{26} \right]^{0.7788} \dots\dots\dots(33)$$



Gambar 2.16 Kurva Hubungan antara Stabilitas *subbase* dan nilai k (modulus subgrade)

Sumber : FAA AC NO.150/5320-10F 2009

2. Karakteristik Pesawat Terbang

Menurut metode FAA dalam menentukan tebal lapis perkerasan kaku dipakai pesawat terbang rencana yaitu pesawat yang terberat dan menghasilkan tebal perkerasan kaku terbesar pada perhitungan tebal lapis kaku. Parameter yang diperlukan dari pesawat rencana untuk struktur perkerasan antara lain :

a. Konfigurasi Roda Pendaratan

Landing gear merupakan struktur dari roda pendaratan pesawat terbang yang berfungsi untuk menyerap energi hentakan dan getaran saat pesawat mendarat (*landing*).

Tabel 2.15 Karakteristik Pesawat dan Konfigurasi Roda Pendaratan Pesawat

AEROPLANE TYPE	REF CODE	AEROPLANE CHARACTERISTICS					
		ARFL (m)	Wing-span (m)	OMGWS (m)	Length (m)	MTOW (kg)	TP (kPa)
Airbus A320-200	4C	2058	33.9	8.7	37.6	72000	1360
Boeing:							
B717-200	4C	2130	28.4	6.0	37.8	51710	-
B737-200	4C	2295	28.4	6.4	30.6	52390	1145
B737-300	4C	2749	28.9	6.4	30.5	61230	1344
B737-400	4C	2499	28.9	6.4	36.5	63083	1400
B737-800	4C	2256	35.8	6.4	39.5	70535	-
McDonnell Douglas:							
DC9-30	4C	2134	28.5	6.0	37.8	48988	-
DC9-80/MD80	4C	2553	32.9	6.2	45.1	72575	1390
Airbus:							
A300-600	4D	2332	44.8	10.9	54.1	165000	1260
A310-200	4D	1845	43.9	10.9	46.7	132000	1080
Boeing:							
B707-300	4D	3088	44.4	7.9	46.6	151315	1240
B757-200	4D	2057	38.0	8.7	47.3	108860	1172
B767-200ER	4D	2499	47.6	10.8	48.5	156500	1310
B767-300ER	4D	2743	47.6	10.8	54.9	172365	1310
McDonnell Douglas:							
DC8-63	4D	3179	45.2	7.6	57.1	158757	1365
DC10-30	4D	3170	50.4	12.6	55.4	251744	1276
Lockheed:							
L1011-100/200	4D	2469	47.3	12.8	54.2	211378	1207
McDonnell Douglas							
MD11	4D	2207	51.7	12.0	61.2	273289	1400
Tupolev TU154	4D	2160	37.6	12.4	48.0	90300	-
Airbus:							
A 330-200	4E	2713	60.3	12.0	59.0	230000	1400
A 330-300	4E	2560	60.3	12.0	63.6	230000	1400
A 340-300	4E	2200	60.3	12.0	63.7	253500	1400
Boeing:							
B747-SP	4E	2710	59.6	12.4	56.3	318420	1413
B747-300	4E	3292	59.6	12.4	70.4	377800	1323
B747-400	4E	3383	64.9	12.4	70.4	394625	1410
B777-200	4E	2500	60.9	12.8	63.73	287800	1400

Sumber : Heru Basuki, 1986

b. Beban roda pesawat terbang (*wheel load*)

Metode perkerasan kaku didasarkan pada berat lepas landas kotor pesawat terbang dengan tujuan agar perencanaan perkerasan kaku dapat direncanakan untuk mengantisipasi dari berat maksimum lepas landas kotor pesawat (MTOW). Prosedur perencanaan mengasumsikan bahwa 95 persen dari berat kotor pesawat terbang dibawa oleh *main landing gear* dan 5 persen dibawa oleh *nose gear*. Dari ketentuan tersebut maka beban roda pesawat terbang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$R_2 = \text{Faktor pengali untuk keberangkatan} \times \text{Annual Departure} \dots\dots\dots(34)$$

$$W_2 = \text{MTOW} \times \frac{0,95}{\text{Jumlah Roda Belakang}} \dots\dots\dots(35)$$

$$W_1 = 95 \% \times \text{MTOW} \times \frac{1}{n} \dots\dots\dots(36)$$

Dimana :

W_1 = Beban roda pendaratan utama pesawat rencana

W_2 = Beban roda pendaratan utama pesawat

MTOW = Berat lepas landas maksimum (lbs)

N = Jumlah roda

3. Volume Lalu Lintas Udara

Nilai *Equivalent Annual Departures* dari tipe pesawat terbang yang akan beroperasi didapatkan dengan mengkonversi pesawat terbang tersebut terlebih dahulu ke pesawat terbang rencana dengan menggunakan persamaan :

$$\text{Log } R_1 = \text{Log } R_2 \times (W_2 / W_1)^{0,5} \dots\dots\dots(37)$$

Dimana :

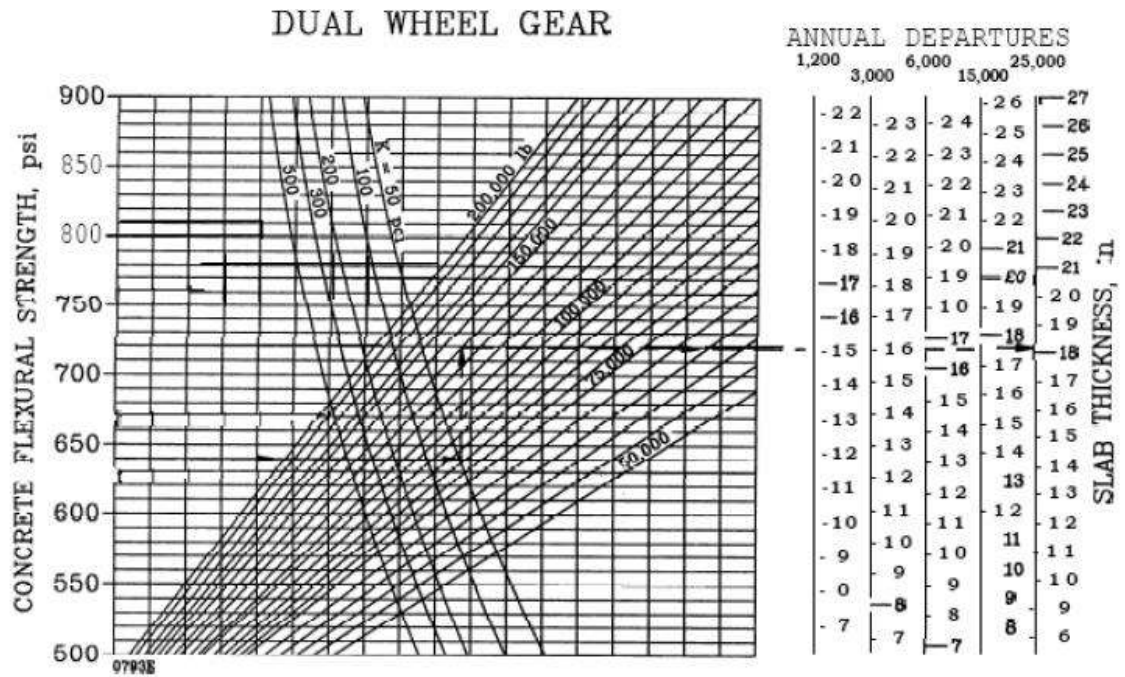
R_1 = *Equivalent Annual Departures* pesawat rencana

R_2 = *Equivalent Annual Departures* pesawat

W_1 = Beban roda pesawat rencana (lbs)

W_2 = Beban roda pesawat (lbs)

Setelah parameter-parameter yang diperlukan untuk merencanakan tebal perkerasan kaku didapat, lalu data tersebut diplotkan ke dalam kurva yang telah ditetapkan oleh FAA, kurva tersebut dibedakan sesuai dengan tipe roda pendaratan.



Gambar 2.17 Grafik Perkerasan Kaku Metode FAA untuk Jenis Pesawat Terbang *dual wheel gear*

Sumber : FAA AC No. 150/5320-6D