

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar didunia, dengan kurang lebih 17.504 pulau yang membentang dari Sabang sampai Merauke. Sifat negara kepulauan membuat mobilitas manusia maupun barang sangat bergantung pada keandalan tiap jenis moda transportasi, baik itu melalui darat, udara, maupun laut. Transportasi yang baik dan handal diperlukan untuk memperlancar perekonomian dalam suatu wilayah dan juga menjadi salah satu indikator penggerak kemajuan suatu wilayah. Salah satu moda transportasi yang paling banyak digunakan yaitu moda transportasi udara. Transportasi udara hadir untuk menjangkau daerah-daerah yang sulit dijangkau oleh moda transportasi darat maupun laut. Kebutuhan akan transportasi udara sendiri tidak terlepas dari keberadaan bandar udara sebagai sarana dan prasarana penunjang. Di Indonesia memiliki banyak bandar udara yang terdiri dari bermacam tipe menurut ukuran dan jenis pesawat yang mendarat di bandara tersebut.

Menurut Annex 14 mengenai kebandarudaraan, yang dikeluarkan oleh ICAO (*Internasional Civil Aviation Organization*), bandar udara adalah kawasan di daratan dengan batas-batas tertentu yang digunakan sebagai tempat pesawat udara mendarat dan lepas landas, naik turun penumpang, bongkar muat barang dan tempat perpindahan intra dan antarmoda transportasi, yang dilengkapi dengan fasilitas keselamatan dan keamanan penerbangan, serta fasilitas pokok dan fasilitas penunjang lainnya. Area bandar udara sendiri terbagi atas dua area utama, yakni area sisi udara (*airside*) dan area sisi darat (*landside*). Landas pacu (*runaway*), landas hubung (*taxiway*), *apron*, *Air Traffic Control (ATC)* merupakan beberapa contoh fasilitas bandar udara yang termasuk kedalam sisi udara. Sementara itu, yang termasuk kedalam fasilitas sisi darat, seperti terminal penumpang, terminal kargo, dan area parkir kendaraan.

Landas pacu (*runaway*) adalah suatu daerah persegi empat yang ditetapkan pada bandar udara yang dipersiapkan untuk kegiatan pendaratan (*landing*) dan lepas landas (*take-off*) pesawat udara. Landas pacu merupakan fasilitas sisi udara yang berhubungan langsung dengan operasional pesawat udara, bersamaan dengan landasan hubung (*taxiway*) dan *apron*. Sama seperti jalan raya pada umumnya yang didesain dengan perkerasan sedemikian rupa untuk menopang beban kendaraan, ketiga fasilitas udara tersebut juga diberi perkerasan untuk menopang beban operasional pesawat udara. Permukaan landas pacu bisa dibuat dari perkerasan hasil buatan manusia (aspal, beton, komposit, dll.) atau dari perkerasan alami (rumput, tanah, es, dll.). Kekuatan perkerasan merupakan salah satu faktor penting dalam menentukan jenis operasional pesawat udara pada sebuah bandar udara. Semakin besar kekuatan perkerasan landas pacu, maka semakin banyak pesawat bertonase besar yang bisa dilayani oleh bandar udara. Sebaliknya jika semakin kecil kekuatan perkerasan, maka operasional pesawat bertonase besar akan dibatasi.

Konstruksi perkerasan lentur terdiri dari lapisan-lapisan yang diletakkan di atas tanah dasar yang telah dipadatkan. Lapisan tersebut berfungsi untuk menerima beban lalu lintas dan menyebarkan ke lapisan di bawahnya. Oleh karena itu sangat di perlukan perencanaan perkerasan lentur yang baik, agar dapat menopang beban roda pesawat di atasnya. Dalam hal ini penulis ingin merencanakan sekaligus meneliti pengaruh nilai CBR lapisan pondasi bawah perkerasan lentur landasan pesawat dengan kemampuan perkerasan PCN 34.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Adapun permasalahan yang menjadi topik penelitian ini yaitu pada ketebalan lapisan-lapisan perkerasan lentur landasan pesawat, dimana ketebalan lapisan perkerasan terlalu tinggi akibat nilai CBR tanah dasar yang terlalu rendah, sehingga biaya yang dikeluarkan untuk lapisan perkerasan menjadi sangat besar, oleh karena itu penelitian ini dilakukan untuk merencanakan perkerasan lentur landasan pesawat dengan beberapa nilai CBR pada lapisan pondasi bawah yang berbeda, dengan kondisi awal nilai CBR lapisan pondasi bawah yaitu 6%. Sehingga tebal lapisan-lapisan pada perkerasan lentur landasan pesawat dapat di optimalkan menjadi lebih efisien dan biaya yang dikeluarkan menjadi lebih hemat.

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Dari rumusan masalah yang dijelaskan di atas, tujuan yang ingin dicapai oleh penulis yaitu sebagai berikut:

1. Mendapatkan hubungan peningkatan CBR dengan tebal lapisan pondasi bawah dan tebal lapisan perkerasan.
2. Mencari perbandingan harga material struktur perkerasan dengan peningkatan nilai CBR lapisan pondasi bawah (harga satuan diambil dari HSD kota Medan- Sumatera Utara).
3. Menentukan desain yang paling optimum ditinjau dari segi harga.

### **1.4 Batasan Masalah**

Adapun hal yang perlu di batasi dalam penelitian ini yaitu beberapa masalah agar ruang lingkup penelitian tidak terlalu luas dan memudahkan penelitian sebagai berikut:

1. Tinjauan kasus dilakukan di Bandara Dr. Ferdinand Lumban Tobing, Kabupaten Tapanuli Tengah, Sumatera Utara
2. Data pesawat yaitu frekuensi dan beban pesawat diambil dari Bandara Dr. Ferdinand Lumban Tobing, Kabupaten Tapanuli Tengah, Sumatera Utara
3. Perkuatan tambahan seperti geosintetik tidak digunakan pada penelitian ini.
4. Analisis penurunan tidak diperhitungkan pada penelitian ini.
5. Penelitian ini tidak mempertimbangkan proyeksi peningkatan penumpang.
6. Jenis perkerasan yang digunakan adalah perkerasan lentur dengan CBR tanah dasar  $< 6 \%$ .
7. Peningkatan nilai CBR timbunan pilihan pada penelitian ini ditentukan, yaitu: 10 %, 12 %, 15 % dan 20 %.
8. Harga pekerjaan berdasarkan harga satuan dasar Kota Medan
9. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode FAA.

### **1.5 Manfaat penelitian**

Adapun manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini yaitu sebagai berikut:

- Dapat mengetahui cara perencanaan perkerasan lentur (*flexible pavement*) landasan pacu (*runway*) pada bandara.

- Dapat melakukan optimasi struktur perkerasan pada perencanaan perkerasan lentur di bandar udara.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan tugas akhir ini disusun menjadi lima bagian utama ditambah dengan lampiran – lampiran. Adapun deskripsi singkat dari masing – masing bab adalah:

### **a. Bab I Pendahuluan:**

Bab ini berisi latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian batasan masalah, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

### **b. Bab II Tinjauan Pustaka:**

Bab ini membahas teori – teori, referensi, studi pustaka, dan rumus – rumus yang digunakan oleh penulis untuk menunjang penelitian yang diperoleh dari referensi berbagai sumber yang penulis dapatkan.

### **c. Bab III Metodologi Penelitian:**

Bab ini menjelaskan tentang metodologi yang digunakan dalam penelitian untuk memperoleh data, serta melakukan evaluasi dan analisa sesuai dengan tujuan yang sudah diuraikan diatas.

### **d. Bab IV Analisa dan Pembahasan:**

Bab ini berisi tentang uraian data, hal-hal yang akan di evaluasi dan di analisa untuk mengetahui pengaruh nilai CBR pada lapisan-lapisan tanah, dan perbandingan nilai CBR perkerasan lentur yang digunakan dalam penelitian untuk memperoleh data, serta melakukan evaluasi dan analisa sesuai dengan tujuan yang akan dicapai oleh peneliti.

### **e. Bab V Kesimpulan dan Saran:**

Bab ini merupakan bagian akhir yang berisi kesimpulan dan saran mengenai hasil penelitian Tugas Akhir ini. Pada akhir penulisan akan dilampirkan daftar pustaka dan lampiran yang berisi data – data penunjang dalam proses pengolahan data.

## 1.7 Waktu Pelaksanaan Tugas Akhir (Time Schedule)

Tabel 1.1 Jadwal Pengerjaan Tugas Akhir

No	Uraian Pekerjaan	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Aug	Sept	Okt
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	Pengajuan Judul TA dan Pembekalan serta Bimbingan Judul TA								
2	Pengerjaan untuk Proposal TA								
3	Seminar Proposal								
4	Pengerjaan dan Asistensi TA								
5	Seminar Hasil								
6	Revisi Seminar Hasil								
7	Penyelesaian Laporan Akhir								

## 1.8 Rencana Anggaran Biaya

Tabel 1.2 Rencana Anggaran Biaya

No	Uraian Pekerjaan	Volume	Satuan	Harga (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	Pengumpulan bahan-bahan referensi	3	Bh	80,000	240,000
2	Browsing di internet	3	Bh	75,000	225,000
3	Pengerjaan laporan proposal	5	Ls	10,000	50,000
4	Seminar proposal	1	Ls	500,000	500,000
5	Pengumpulan data-data penelitian	2	Ls	200,000	400,000
6	Pengerjaan penelitian	3	Ls	50,000	150,000
7	Seminar Hasil	1	Ls	500,000	500,000
8	Sidang Meja Hijau	1	Ls	1,500,000	1,500,000
<b>Total (Rp)</b>					<b>3,565,000</b>

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Bandar Udara**

Bandar Udara adalah kawasan di daratan maupun di perairan dengan batas-batas tertentu yang digunakan sebagai tempat pesawat udara mendarat dan lepas landas, naik turun penumpang, bongkar muat barang, dan tempat perpindahan intra dan artarmoda transportasi, yang dilengkapi dengan fasilitas keselamatan dan keamanan penerbangan, serta fasilitas pokok dan fasilitas penunjang lainnya.

Menurut peraturan Direktorat Jenderal Perhubungan Udara No. SKEP/77/VI/2005 tentang Persyaratan Teknis Bandar Udara, Bandar udara berdasarkan fungsinya dibedakan menjadi tiga bagian, yaitu:

1. Bandar udara yang merupakan simpul dalam jaringan transportasi udara, digambarkan sebagai titik lokasi Bandar udara yang menjadi pertemuan beberapa jaringan dan rute penerbangan sesuai hierarki bandar udara.
2. Bandar udara sebagai pintu gerbang kegiatan perekonomian Nasional dan Internasional.
3. Bandar udara sebagai tempat kegiatan alih moda transportasi.

#### **2.2 Klasifikasi Bandar Udara**

Klasifikasi Bandar udara terdiri atas beberapa kelas bandar udara yang ditetapkan berdasarkan kapasitas pelayanan dan kegiatan operasional bandar udara. Kapasitas pelayanan merupakan kemampuan bandar udara untuk melayani jenis pesawat udara terbesar dan jumlah penumpang/barang yang meliputi:

- Kode angka (*code number*) yaitu perhitungan panjang landasan pacu berdasarkan referensi pesawat *aeroplane reference field length* (AFRL).
- Kode huruf (*code letter*) yaitu perhitungan sesuai lebar sayap dan lebar/jarak roda terluar pesawat.

#### **2.3 Landas Pacu (Runway)**

Menurut ICAO (*International Civil Aviation Organization*) sebagai induk dari dunia aviasi internasional, landas pacu adalah suatu daerah persegi yang telah ditentukan di sebuah Bandar udara untuk pendaratan atau lepas landas pesawat.

Landas pacu termasuk kedalam fasilitas sisi udara (air side), selain area parkir (*apron*) dan landas hubung (*taxiway*).

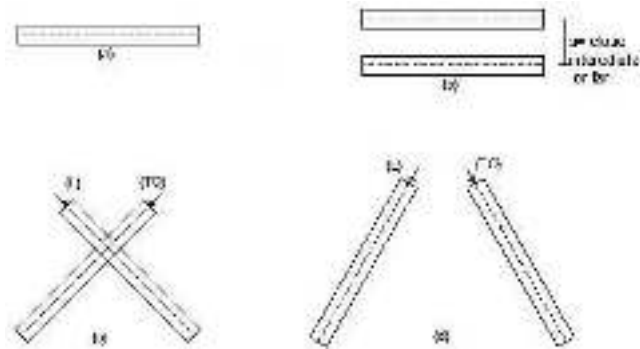
Perencanaan fisik landas pacu merupakan salah satu unsur penting di dalam perencanaan konstruksi sebuah Bandar udara. Pola operasional pesawat terbang dan volume lalu lintas yang direncanakan mempengaruhi karakteristik perencanaan landas pacu. ICAO mengatur tentang desain fisik landas pacu dan teknis pengoperasian di dalam *Annex 14 – Volume 1* yang membahas mengenai desain Bandar udara dan operasinya (*Aerodrome Design and Operation*).

Adapun sistem dan unsur-unsur pada landasan pacu (*runway*) pada bandara terdiri dari:

1. Perkerasan struktur, yaitu area yang digunakan untuk mendukung stabilitas pesawat saat mendarat dan juga lepas landas karena berhubungan dengan beban struktur, kemampuan kemudahan gerak (*manufer*), kriteria dimensi dan operasinya.
2. Bahu landasan (*shoulder*), yaitu area pembatas pada sisitem runway yang letaknya berdekatan dengan pinggir perkerasan struktur dan berfungsi untuk menahan erosi hembusan jet dan menampung peralatan untuk pemeliharaan dan keadaan darurat.
3. Bantal hembusan (*blast pad*), yaitu area yang dirancang untuk mencegah erosi permukaan yang berdekatan dengan ujung-ujung runway yang menerima hembusan jet terus-menerus atau yang berulang. Panjang blast pad ini umumnya 100 feet (30 m), namun sebaiknya 200 feet (60 m) untuk bandara yang diperuntukkan bagi pesawat-pesawat transport. Sementara itu untuk pesawat yang berbadan lebar panjang blast pad yang dibutuhkan adalah 400 feet (120 m).
4. Daerah aman runway (*runway end safety area*), yaitu area yang bersih dari benda-benda yang mengganggu, diberi drainase, area aman ini harus mendukung peralatan pemeliharaan dan juga harus mampu mendukung pesawat jika seandainya pesawat keluar dari *ranway* pada saat *take off* atau *landing*.



Dalam menunjang operasional pesawat udara, adapun beberapa macam kombinasi konfigurasi landasan pacu pada bandara. Konfigurasi didefinisikan sebagai jumlah dan arah (*orientasi*) landasan dan letak daerah terminal dan letak daerah terminal relatif terhadap landasan tersebut.



Gambar 2.1 Jenis-jenis konfigurasi landas pacu (*runway*)

(Sumber: [www.pengadaan.web.id/2021/03/runway-landasan-pacu](http://www.pengadaan.web.id/2021/03/runway-landasan-pacu))

a. Landasan Pacu Tunggal (*Single Runway*)

Konfigurasi runway tunggal ini merupakan konfigurasi yang paling sederhana, kapasitas runway jenis ini dalam kondisi *Visual Flight Rules* (VFR) berkisar antara 50-100 operasi per jam, sedangkan ketika dalam kondisi *Instrument Flight Rules* (IFR) kapasitas runway ini berkurang menjadi 50-70 operasi, dimana bergantung pada komposisi campuran pesawat terbang dan alat-alat bantu navigasi yang tersedia.

b. Landasan pacu sejajar (*parallel runway*)

Kapasitas runway sejajar ini sangat tergantung pada jumlah runway dan jarak di antaranya. Dalam kondisi VFR runway sejajar berjarak rapat, menengah dan renggang kapasitasnya per jam dapat bervariasi diantara 100-200 operasi, dimana tergantung pada komposisi campuran pesawat terbang. Sementara itu dalam kondisi IFR, untuk runway sejajar yang berjarak rapat memiliki kapasitas per jam berkisar di antara 50-60 operasi, untuk jarak menengah memiliki kapasitas per jam berkisar di antara 60-75 operasi, dan untuk runway sejajar dengan jarak renggang memiliki kapasitas per jam berkisar di antara 100-125 operasi. dalam kondisi VFR runway sejajar atau dua jalur ini dapat menampung lalu lintas paling sedikit 70 % lebih banyak

dari runway tunggal, sedangkan dalam kondisi IFR kira-kira 60 % lebih banyak dari runway tunggal.

c. Landasan pacu bersilang (*cross runway*)

Jumlah kapasitas pada konfigurasi runway bersilang tergantung pada letak persilangannya dan pada cara pengoperasian sistem runway dalam hal ini strategi lepas landas atau mendaratnya pesawat. Semakin jauh letak titik silang dari ujung lepas landas runway dan ambang (*threshold*) pendaratan, semakin sedikit kemampuan kapasitas runway-nya.

d. Landasan pacu v-terbuka (*v-shaped runway*)

Konfigurasi runway v terbuka merupakan sistem runway yang dibangun dengan arah memencar (*divergen*), tetapi tidak berpotongan.

## 2.4 Karakteristik pesawat

Dalam perencanaan atau pengembangan bandar udara beserta dengan fasilitasnya, diperlukan data-data jenis pesawat dan kapasitas angkutnya. Untuk penentuan karakteristik pesawat terdiri dari:

a. Standar Dimensi

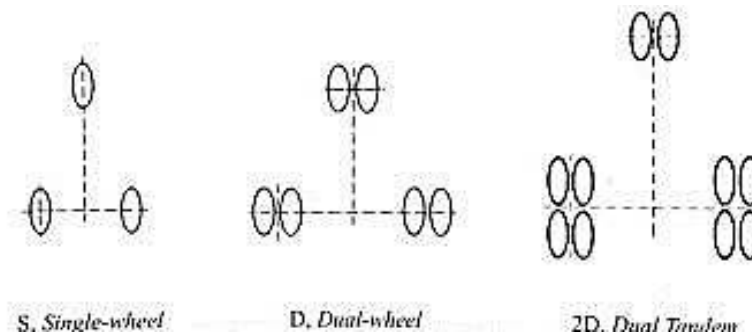
Gambaran tentang karakteristik pesawat terbang. Beberapa istilah yang terkait dengan dimensi pesawat yang penting terhadap perencanaan dan perancangan bandar udara, yaitu Panjang pesawat, Panjang sayap pesawat, tinggi maksimum pesawat, jarak antara roda pendaratan utama dengan as roda depan, jarak antara as roda terluar dari *main landing gear* pesawat.

b. Konfigurasi Roda pendaratan (*Landing Gear*)

Konfigurasi roda berperan penting dalam mendistribusikan berat pesawat ke permukaan yang ditumpanginya. Terdapat beberapa definisi dalam konfigurasi roda pesawat, yaitu:

1. *Single wheel configuration* (konfigurasi roda tunggal)
2. *Dual-wheel configuration* (konfigurasi roda ganda)
3. *Dual tandem configuration* (konfigurasi roda ganda tandem)

Konfigurasi roda pesawat dapat dilihat pada Gambar 2.2 berikut.



Gambar 2.2 Landing Gear Konfiguration

Sumber: *e-journal.uajy.ac.id*

Untuk pesawat-pesawat dengan tipe Transport Aircraft (TA) besar memiliki landing gear configuration yang kompleks, antara lain Boeing 747, Boeing 777, dan Airbus A-380. Kerumitan dan keberagaman *landing gaer configuration* ini menginisiasi FAA untuk membuat standar persamaan untuk *landing gear configuration*. Contoh persamaan ini ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 contoh standar persamaan landing gear configuration (FAA)

<i>FAA Name</i>	<i>FAA Designation</i>	Contoh Tipikal Pesawat
<i>Single wheel</i>	S	Cessna Caravan, F-14
<i>Dual wheel</i>	D	B737-100, B737-900ER, Beech J900
<i>Single tandem</i>	2S	C-130
<i>Dual tandem</i>	2D	B757
<i>Double dual tandem</i>	2D/2D2	B747
<i>Triple tandem</i>	3D	B777
<i>Dual tandem plus triple tandem</i>	2D/3D2	Airbus A-300

Sumber: *e-journal.uajy.ac.id*

c. Beban Pesawat

Adapun beberapa jenis beban pesawat yang berhubungan dengan pengoperasiannya, yaitu beban kosong, muatan berbayar, berat bahan

kosong, dan beban pesawat saat melakukan pergerakan dari apron menuju landas pacu.

## 2.5 Karakteristik Fisik Landas Pacu

Adapun beberapa karakteristik fisik landas pacu penting yang menjadi perhatian utama dalam perencanaan Bandar udara, seperti:

### 1. Penempatan dan arah landas pacu

Penempatan dan arah landas pacu bergantung kepada factor kegunaan (*usability factor*) yang ditentukan oleh distribusi angin, jumlah, penempatan, dan arah landas pacu.

### 2. Panjang landas pacu actual

Panjang landas pacu actual merupakan panjang landas pacu efektif yang digunakan pesawat rencana untuk melakukan lepas landas. Panjang landas pacu merupakan hasil koreksi dari *Aeroplane Reference Field Length* (ARFL) terhadap factor kondisi lingkungan, misalnya elevasi, temperature, dan kelandaian landas pacu (*runway*).

### 3. Lebar landas pacu

Beberapa factor yang mempengaruhi lebar landas pacu, antara lain: sudut deviasi pesawat terhadap garis tengah (*centre line*) landas pacu saat mendarat, kondisi angin melintang (*crosswind*), *rubber deposit* pada landas pacu, kecepatan pendaratan pesawat, visibilitas, sampai dengan factor manusia

Tabel 2.2 Lebar minimum landas pacu

Nomor Kode	Huruf Kode					
	A	B	C	D	E	F
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	60 m

(Sumber: Dirjen Perhubungan Udara no. KP 93, 2015)

4. Jarak minimum antara landas pacu sejajar (*parallel runway*)

Tabel 2.3 Jarak minimum antar landas pacu sejajar

	Jarak minimum antar sumbu (m)	Keterangan
Landas pacu sejajar non instrument	210	Ketika nomor kode tertinggi adalah 3 atau 4
	150	Ketika nomor kode tertinggi adalah 2
	120	Ketika nomor kode tertinggi adalah 1
	1,035	Untuk <i>independent parallel approaches</i>
Landas pacu sejajar berinstrumen	915	Untuk <i>dependent parallel approaches</i>
	760	Untuk <i>independent parallel approaches</i>
	760	Untuk <i>dependent parallel approaches</i>

(Sumber: Dirjen Perhubungan Udara no. KP 93, 2015)

5. Kemiringan landas pacu

Berikut adalah tabel ketentuan minimum desain kemiringan landas pacu baik yang melintang dan memanjang.

Tabel 2.4 Kemiringan melintang minimum

Huruf Kode	Kemiringan Melintang (%)
A	2
B	2
C	1,5
D	1,5
E	1,5

(Sumber: Dirjen Perhubungan Udara no. KP 93, 2015)

Tabel 2.5 Kemiringan memanjang minimum

Nomor Kode	Kemiringan Maksimum Rata-rata (%)	Kemiringan Maksimum pada Bagian Sepanjang Runway (%)	Perubahan Kemiringan Maksimum (%)	Transisi Maksimum dari Satu Kemiringan ke Kemiringan Berikutnya per 30 Meter (%)	Radius Minimum Lengkung (m)
1	2	2	2	0,4	7,500
2	2	2	2	0,4	7,500
3	1	1,5	1,5	0,2	15,000
4	1	1,25	1,5	0,1	30,000

(Sumber: Dirjen Perhubungan Udara no. KP 93, 2015)

#### 6. Permukaan dan kekuatan landas pacu

Permukaan landas pacu harus dibangun tanpa adanya ketidakrataan permukaan yang dapat mengurangi karakteristik permukaan landas pacu terhadap aktivitas pergerakan pesawat. Untuk memenuhi fungsi dari landas pacu umumnya lapisan permukaan perkerasan dibuat dengan menggunakan beton semen (perkerasan kaku) atau beton aspal (perkerasan lentur) sehingga menghasilkan lapisan kedap air dengan stabilitas yang tinggi dan memiliki daya tahan yang cukup lama.

#### 2.6 CBR (*California Bearing Ratio*)

CBR adalah perbandingan antara beban untuk penetrasi contoh tanah sebesar 0.1” / 0.2” dengan beban yang ditahan batu pecah standar pada penetrasi 0.1” / 0.2” tersebut. Harga CBR dinyatakan dalam persen (%), jadi harga CBR adalah nilai yang dinyatakan kualitas tanah dasar dibandingkan dengan bahan standar berupa batu pecah yang mempunyai nilai CBR sebesar 100% dalam memikul beban roda di atasnya.

Untuk sebuah konstruksi perkerasan secara umum digunakan beberapa material seperti agregat kasar, agregat halus, pasir, dan filler. Berikut pada Tabel 2.6 nilai CBR material tanah yang dikenal secara umum:

Tabel 2.6 nilai CBR material tanah yang dikenal secara umum

Material	CBR (%)
Agregat pecah padat – bergradasi biasanya digunakan untuk pondasi perkerasan	100
Agregat alami padat - bergradasi biasanya digunakan untuk pondasi perkerasan	80
Batu kapur	80
Pasir campuran	50-80
Pasir berbutir kasar	20-50
Pasir berbutir halus	10-20
Tanah lempung	< 3

(Sumber: <http://ejournal.borobudur.ac.id>)

## 2.7 Perkerasan Landas Pacu

Perkerasan merupakan suatu struktur yang terdiri dari beberapa lapisan, yaitu kombinasi dari surface, base course dengan beberapa kekerasan dan daya dukung yang berbeda. Struktur tersebut disusun sedemikian rupa di atas subgrade dan berfungsi untuk menerima beban di atasnya yang kemudian mendistribusikan kelapisan subgrade. Seperti halnya perkerasan pada jalan raya, maka untuk lapangan terbang atau bandar udara terdiri dari dua jenis perkerasan, yaitu:

### 2.7.1 Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*)

Lapisan perkerasan yang seluruhnya menggunakan bahan campuran beraspal sebagai lapis pengikat pada permukaan serta bahan berbutir sebagai lapisan dibawahnya, berfungsi untuk menerima beban lalu lintas dan menyebarkan kelapisan di bawahnya sampai ke tanah dasar.

1. Lapisan Tanah Dasar (*Subgrade*)

Lapisan tanah dasar adalah lapisan tanah yang berfungsi sebagai tempat perletakan lapis perkerasan dan mendukung konstruksi perkerasan di atasnya. Lapisan tanah dasar dapat berupa tanah asli yang dipadatkan jika tanah aslinya baik, atau tanah urugan yang didatangkan dari tempat lain atau tanah yang distabilisasi. Ditinjau dari muka tanah asli, maka lapisan tanah dasar dibedakan atas:

- a. Lapisan tanah dasar, tanah galian
- b. Lapisan tanah dasar, tanah urugan
- c. Lapisan tanah dasar, tanah asli

Kekuatan dan keawetan konstruksi perkerasan sangat tergantung dari sifat-sifat dan daya dukung tanah dasar. Umumnya persoalan yang menyangkut tanah dasar adalah sebagai berikut:

- a. Perubahan bentuk tetap (deformasi permanen) akibat beban lalu lintas.
- b. Sifat mengembang dan menyusutnya tanah akibat perubahan kadar air.
- c. Daya dukung tanah yang tidak merata akibat adanya perbedaan sifat-sifat tanah pada lokasi yang berdekatan atau akibat kesalahan pelaksana misalnya kepadatan yang kurang baik.

## 2. Lapisan Pondasi Bawah (*Subbase Course*)

Lapis pondasi bawah adalah lapisan perkerasan yang terletak di atas lapisan tanah dasar dan di bawah lapis pondasi atas, lapis pondasi ini berfungsi sebagai:

- a. Bagian dari konstruksi perkerasan untuk menyebarkan beban roda ketanah dasar.
- b. Lapis peresapan, agar air tanah tidak berkumpul di pondasi.
- c. Lapisan untuk mencegah partikel-partikel halus dari tanah dasar naik ke lapis pondasi atas.
- d. Lapis pelindung lapisan tanah dasar dari beban roda-roda alat berat (akibat lemahnya daya dukung tanah dasar) pada awal-awal pelaksanaan pekerjaan.
- e. Lapis pelindung lapisan tanah dasar dari pengaruh cuaca terutama hujan.



### 3. Lapisan Pondasi Atas (*Base Course*)

Lapisan pondasi atas adalah lapisan perkerasan yang terletak di antara lapis pondasi bawah dan lapis permukaan, lapisan pondasi atas ini berfungsi sebagai:

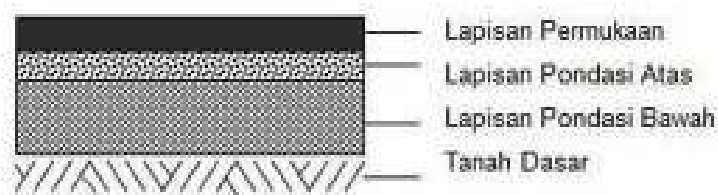
- a. Bagian perkerasan yang menahan gaya lintang dari beban roda dan menyebarkan beban kelapisan di bawahnya.
- b. Bantalan terhadap lapisan permukaan.

Bahan-bahan untuk lapis pondasi atas ini harus cukup kuat dan awet sehingga dapat menahan beban-beban roda, dalam penentuan bahan lapis pondasi ini perlu dipertimbangkan beberapa hal antara lain: kecukupan bahan setempat, harga, volume pekerjaan dan jarak angkut ke lapangan.

### 4. Lapisan Permukaan (*Surface Course*)

Lapisan permukaan adalah lapisan yang bersentuhan langsung dengan beban roda di atasnya, lapisan permukaan ini berfungsi sebagai:

- a. Lapisan yang langsung menahan akibat beban roda pesawat.
- b. Lapisan yang mencegah air hujan yang jatuh di atasnya tidak meresap ke lapisan dibawahnya.
- c. Lapisan yang menyebarkan beban ke lapisan bawah, sehingga dapat di pikul oleh lapisan dibawahnya.



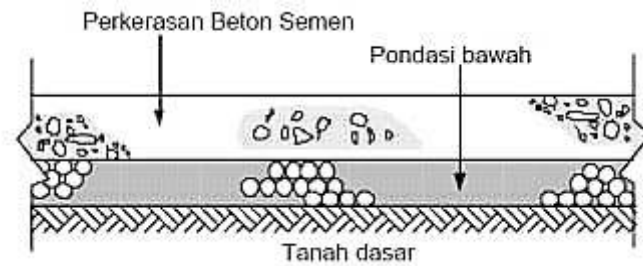
Gambar 2.3 Komponen lapisan perkerasan lentur

(ilmutekniksipil.com)

#### 2.7.2 Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)

Perkerasan kaku adalah jenis perkerasan yang menggunakan konstruksi beton, terdiri atas plat (slab) beton semen sebagai lapis pondasi dan lapis pondasi bawah (bisa juga tidak ada) diatas tanah dasar. Dalam konstruksi perkerasan kaku,

play beton sering disebut sebagai lapis pondasi karena dimungkinkan masih adanya lapisan aspal beton di atasnya yang berfungsi sebagai lapis permukaan. Perkerasan beton yang kaku dan memiliki modulus elastisitas yang tinggi, akan mendistribusikan beban ke bidang tanah dasar yang cukup luas, sehingga bagian terbesar dari kapasitas struktur perkerasan diperoleh dari plat beton sendiri.



Gambar 2.4 Komponen lapisan perkerasan kaku

(ilmutekniksipil.com)

Adapun beberapa perbedaan antara perkerasan lentur (*flexible pavement*) dengan perkerasan kaku (*rigid pavement*)

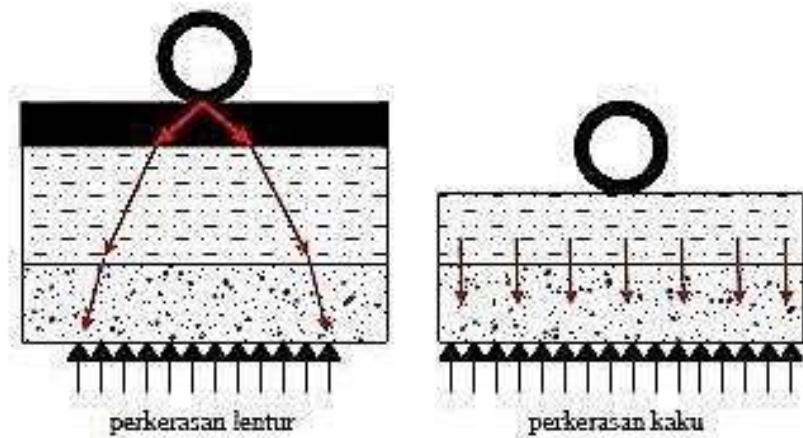
Tabel 2.7 Perbedaan perkerasan lentur dan kaku

No	Perbedaan	Perkerasan Lentur	Perkerasan Kaku
1	Bahan pengikat	Aspal	Semen
2	Repetisi beban	Timbul Rutting (lendutan pada jalur roda)	Timbul retak-retak pada permukaan
3	Penurunan tanah dasar	Jalan bergelombang (mengikuti tanah dasar)	Bersifat sebagai balok diatas perletakan
4	Perubahan temperature	Modulus kekakuan berubah, timbul tegangan dalam yang kecil	Modulus kekakuan tidak berubah, timbul tegangan dalam yang besar

(Sumber: Sukirman, S, 1992)

Perbedaan utama perkerasan kaku dibanding perkerasan lentur adalah bagaimana distribusi beban pada perkerasan disalurkan ke tanah dasar (*subgrade*),

skema distribusi beban pada perkerasan lentur dan perkerasan kaku dipaparkan dalam Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Skema distribusi beban pada perkerasan

(Sumber: [Kardinanawassa.blogspot.com](http://Kardinanawassa.blogspot.com) 2013)

## 2.8 FAA (*Federal Aviation Administration*)

*Federal Aviation Administration* (FAA) adalah badan penerbangan Federal atau lembaga regulator penerbangan sipil di Amerika Serikat. Badan lembaga ini bertanggung jawab sebagai pengatur dan pengawas penerbangan sipil di Amerika Serikat, fungsinya mirip dengan Direktorat Jenderal Perhubungan Udara di Indonesia. Kewenangan FAA meliputi pembangunan dan pengoperasian bandar udara, manajemen lalu lintas udara, sertifikasi personil dan pesawat, dan perlindungan aset AS selama penerbangan.

### 2.8.1 Metode FAA

Metode FAA adalah metode yang paling umum digunakan untuk perencanaan perkerasan lentur (*flexible pavement*) lapangan terbang yang dikembangkan oleh Federal Amerika dari pengembangan metode CBR yang sebelumnya. Jenis dan nilai kekuatan tanah dasar (*subgrade*) sangat mempengaruhi analisa perhitungan menggunakan metode FAA. Perencanaan tebal perkerasan menggunakan metode FAA didasarkan pada grafik-grafik yang dirancang oleh FAA. Langkah-langkah dalam menentukan tebal perkerasan lentur (*flexible pavement*) antara lain:

**a. Menentukan Pesawat Rencana**

Pada awal perencanaan perkerasan lentur pada lapangan terbang, perlu ditentukan pesawat rencana/kritis. Untuk menentukan pesawat rencana atau pesawat kritis, yaitu dimana pesawat yang mempunyai jumlah lintasan tahunan yang paling banyak dan pesawat yang paling berat.

**b. Menentukan Gear Departure setiap Jenis Pesawat (R<sub>2</sub>)**

Setiap bandara pasti memiliki beberapa jenis pesawat yang beroperasi dengan jenis dan tipe yang berbeda-beda, termasuk jenis atau tipe roda pendaratan utama pesawat (*landing gear*). Oleh karena itu, didalam perencanaan perkerasan lentur landasan pacu metode FAA harus ditentukan tipe roda yang akan digunakan. *Gear departure* setiap jenis pesawat dapat ditentukan dengan mengkonversi setiap jenis/tipe roda pesawat kedalam pesawat kritis, Adapun faktor konversi berbagai tipe landing gear seperti dalam Tabel 2.8 berikut ini.

Tabel 2.8 Faktor Konversi Berbagai Konfigurasi Landing Gear Pesawat

No	Konversi dari		Konversi ke		Faktor Konversi
1	<i>Single wheel</i>	0	<i>Dual wheel</i>	0+0	0,8
2	<i>Single wheel</i>	0	<i>Dual tandem</i>	0+0 0+0	0,5
3	<i>Dual wheel</i>	0+0	<i>Dual tandem</i>	0+0 0+0	0,6
4	<i>Double duol tandem</i>	0+0 0+0 0+0 0+0	<i>Dual tandem</i>	0+0 0+0	1,0
5	<i>Dual tandem</i>	0+0 0+0	<i>Single wheel</i>	0	2,0
6	<i>Dual tandem</i>	0+0 0+0	<i>Dual wheel</i>	0+0	1,7
7	<i>Dual wheel</i>	0+0	<i>Single wheel</i>	0	1,3
8	<i>Double dual tandem</i>	0+0 0+0 0+0 0+0	<i>Dual wheel</i>	0+0	1,7

(Sumber: Dirjen Perhubungan Udara no. KP 93, 2015)

**c. Menghitung Beban Roda setiap Jenis Pesawat ( $W_2$ )**

Beban pesawat merupakan faktor utama untuk pengukuran tebal perkerasan landasan pacu (*runway*) pesawat. Berat pesawat memiliki karakteristik telah ditentukan oleh perusahaan pembuat pesawat, berat pesawat ini selanjutnya melalui mekanisme transfer beban melalui konfigurasi roda pesawat menjadi beban roda terhadap perkerasan landasan. Beban roda setiap jenis pesawat yang direncanakan pada bandara dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$W_2 = P \times \text{MTOW} \times 1/n \quad (2.1)$$

Dimana:

$W_2$  = Beban roda pendaratan dari masing-masing jenis pesawat (lbs)

MTOW = Berat kotor pesawat saat lepas landas

n = Jumlah roda pendaratan pesawat

p = persentase beban roda yang diterima roda pendaratan utama: 0.95

**d. Menghitung *Equivalent Annual Departure***

Dalam menghitung *equivalent annual departure*, diperlukan adanya data pesawat, pertumbuhan dan pergerakan pesawat yang beroperasi. Dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\log_{10} R_1 = \log_{10} R_2 \times \left( \frac{W_2}{W_1} \right)^{1/2} \quad (2.2)$$

Dimana:

R1 = Annual departure pesawat kritis/ pesawat desain

R2 = Annual departure yang dinyatakan dalam landing gear pesawat

W1 = Beban roda pesawat kritis/ desain

W2 = Beban roda pesawat yang dikonversi

Berikut adalah tabulasi perhitungan *equivalent annual departure* ditampilkan pada Tabel 2.9

Tabel 2.9 Tabulasi Perhitungan *Equivalent Annual Departure*

No	Jenis Pesawat	Konfigurasi Roda	MTOW	Annual Departure	Equivalent Annual Departure	Beban Roda	Beban Roda Pesawat Kritis	Log R <sub>2</sub>	$(\frac{w_2}{w_1})^{0.5}$	Log R <sub>1</sub>	Equivalent Annual Departure
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1											
2											
....											
										<b>Total</b>	

Keterangan tabel:

Kolom 6 : kolom 5 x factor konversi roda (Tabel 2.8) Kolom

7 : kolom 4 x 95 % / jumlah roda pada main gear Kolom 8

: beban roda terbesar pada kolom 7 (pesawat kritis) Kolom 9

: Log (kolom 6)

Kolom 10 : (kolom 7 / kolom 8)<sup>0.5</sup>

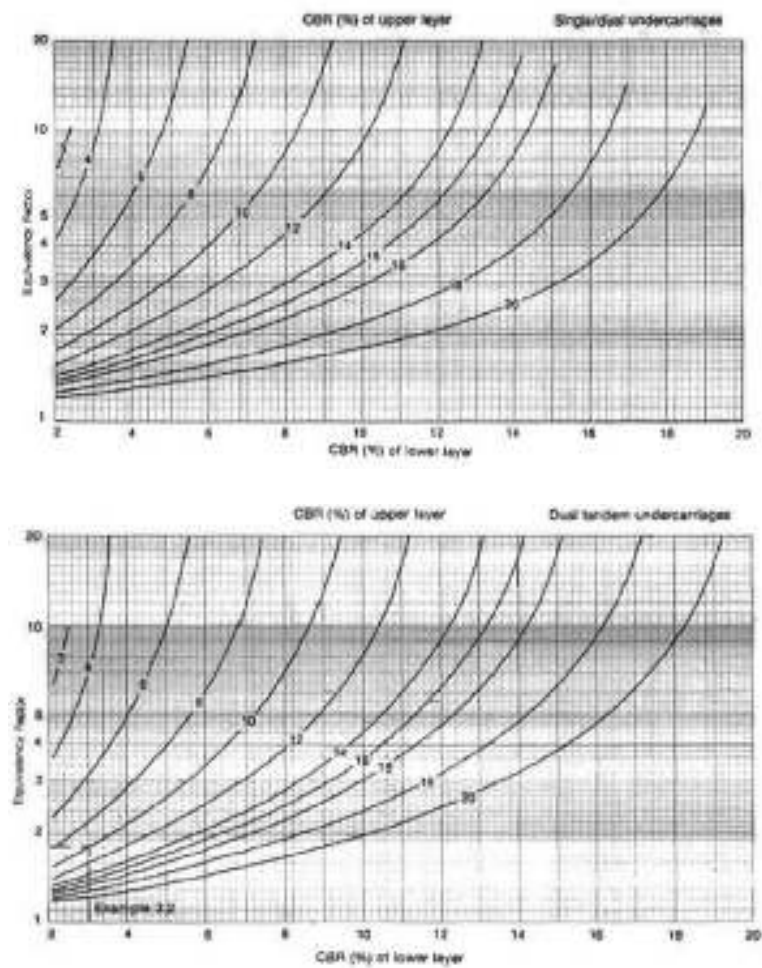
Kolom 11 : kolom 9 x kolom 10

Kolom 12 : Invers log kolom 11 (10<sup>log R<sub>1</sub></sup>)

(Sumber: Dirjen Perhubungan Udara no. KP 93, 2015)

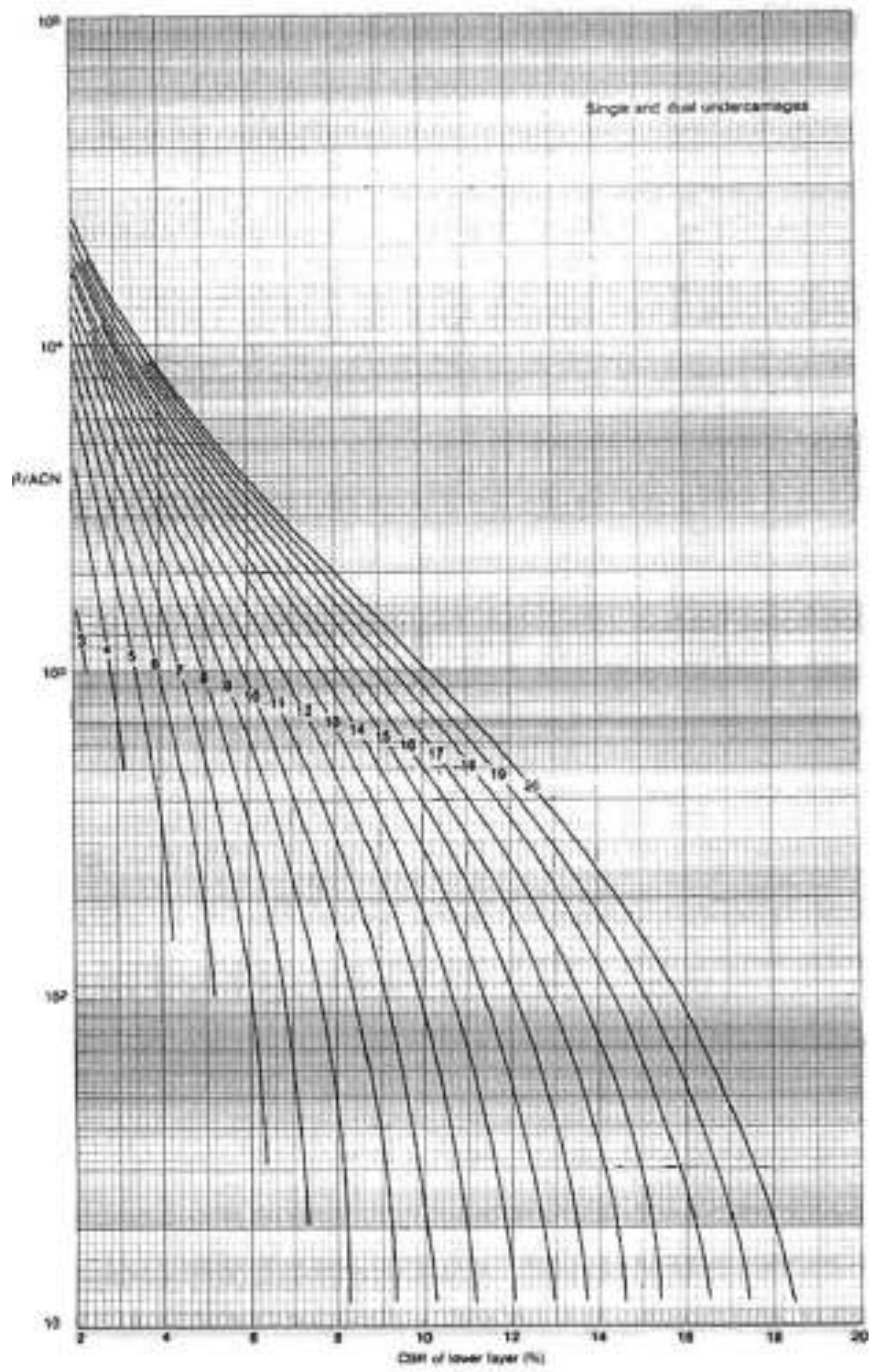
**e. Menentukan Nilai CBR Subgrade**

Pada area yang memiliki daya dukung rendah atau pada tanah cohesif dengan konsistensi *soft* atau *very soft* atau pada *loose sand*, pilihan yang relative ekonomis untuk meningkatkan daya dukung tanah adalah dengan mengganti tanah lunak dengan material yang lebih baik. Untuk menentukan nilai CBR evaluasi jika terdapat penggantian tanah dasar dengan material lain untuk perkerasan lentur dapat menggunakan kurva pada Gambar 2.6, Gambar 2.7 dan Gambar 2.8 berikut.



Gambar 2.6 Korelasi antara CBR Subgrade Lapisan Bawah dengan Faktor Equivalent

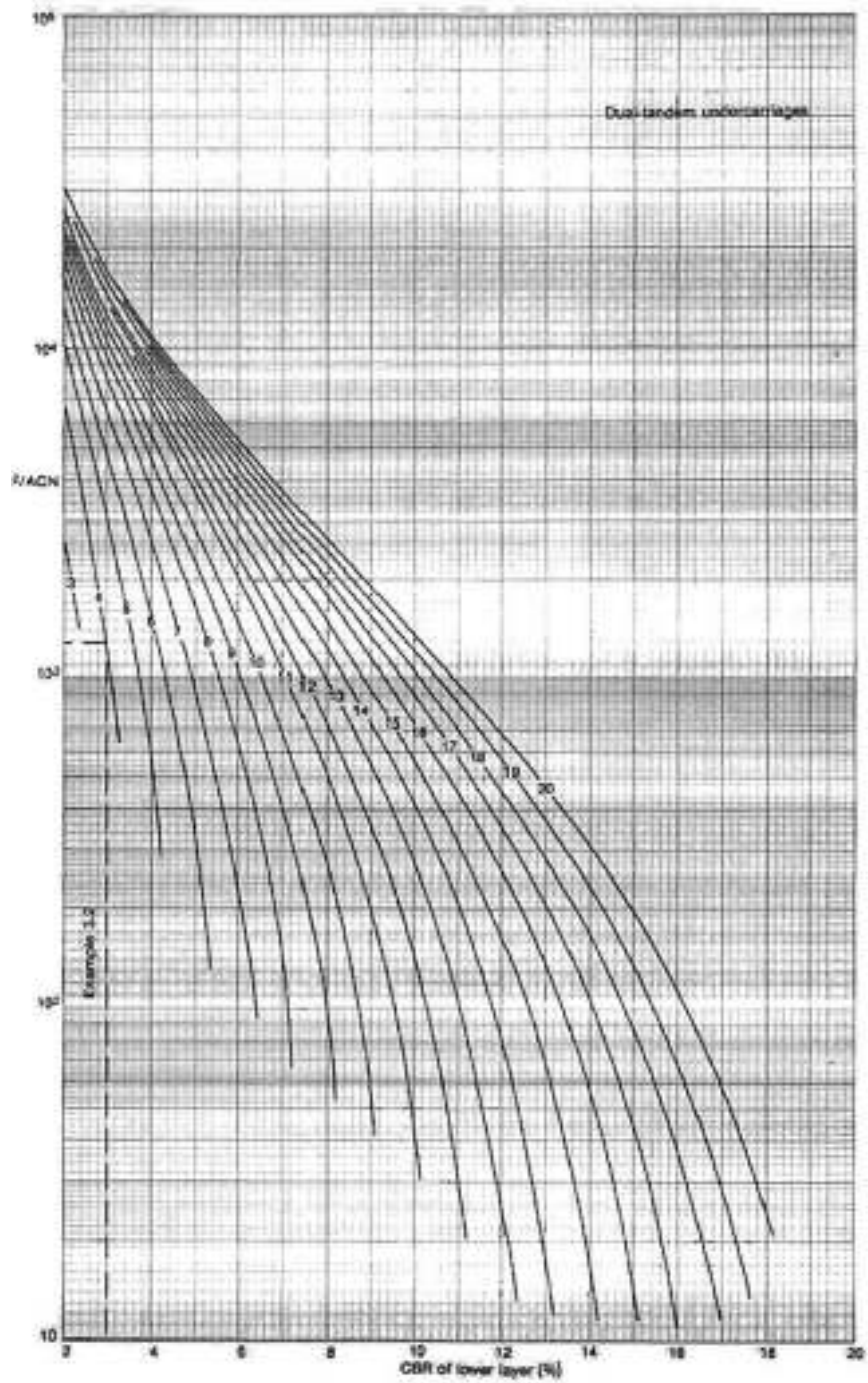
(Sumber: Dirjen Perhubungan Udara no. KP 93, 2015)



Gambar 2.7 Estimasi Nilai CBR Subgrade untuk Konfigurasi Roda Single dan Dual

(Sumber: Dirjen Perhubungan Udara no. KP 93, 2015)





Gambar 2.8 Estimasi Nilai CBR Subgrade untuk Konfigurasi Roda Dual Tandem

(Sumber: Dirjen Perhubungan Udara no. KP 93, 2015)

Langkah penentuan nilai CBR pada dua lapis subgrade dimana nilai CBR lapisan atas lebih tinggi dari nilai CBR lapisan dibawahnya adalah sebagai berikut:

- Tentukan konfigurasi roda pesawat yang beroperasi.
- Diketahui nilai CBR lapisan bawah dan CBR lapisan atas.
- Diketahui Nilai ACN pesawat kritis yang beroperasi.
- Plot CBR subgrade lapisan bawah dan CBR subgrade pada lapisan atas (Gambar 2.6) dan tarik garis horizontal untuk mendapatkan nilai factor equivalent.
- Hitung tebal lapisan bawah (t) dengan membagi lapisan atas dengan factor equivalent dan hitung nilai  $t^2 / ACN$ .

Plot nilai  $t^2 / ACN$  dan CBR subgrade lapisan bawah (Gambar 2.7; Gambar 2.8) untuk menentukan nilai CBR evaluasi

**f. Menentukan Daya Dukung Perkerasan**

Daya dukung perkerasan yaitu kemampuan untuk menahan tekanan atau beban yang ada diatasnya dengan aman tanpa menimbulkan keruntuhan geser dan penurunan berlebih. Untuk menghitung daya dukung perkerasan dibutuhkan data berat pesawat dan nilai ACN pesawat rencana/kritis yang beroperasi berdasarkan nilai CBR *subgrade*. Untuk menentukan daya dukung perkerasan, digunakan persamaan sebagai berikut.

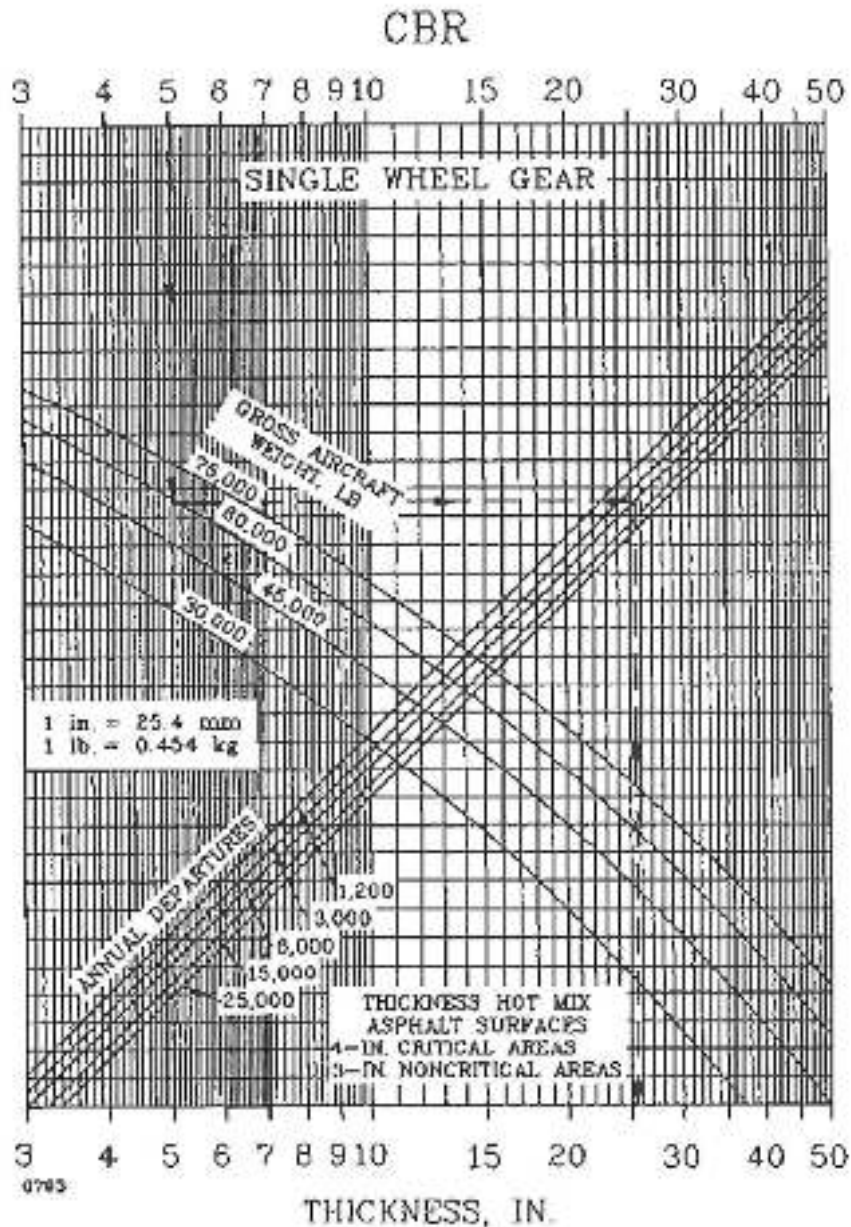
$$P = P_{min} + (P_{maks} - P_{min}) \cdot \left( \frac{PCN - ACN_{min}}{ACN_{maks} - ACN_{min}} \right) \quad ( 2.3 )$$

Dimana,

- P = Beban yang diijinkan bekerja
- P<sub>min</sub> = Beban minimum pesawat kritis
- P<sub>maks</sub> = Beban maksimum pesawat kritis
- ACN min = ACN min yang didapat untuk pesawat kritis
- ACN maks = ACN maks yang didapat untuk pesawat kritis

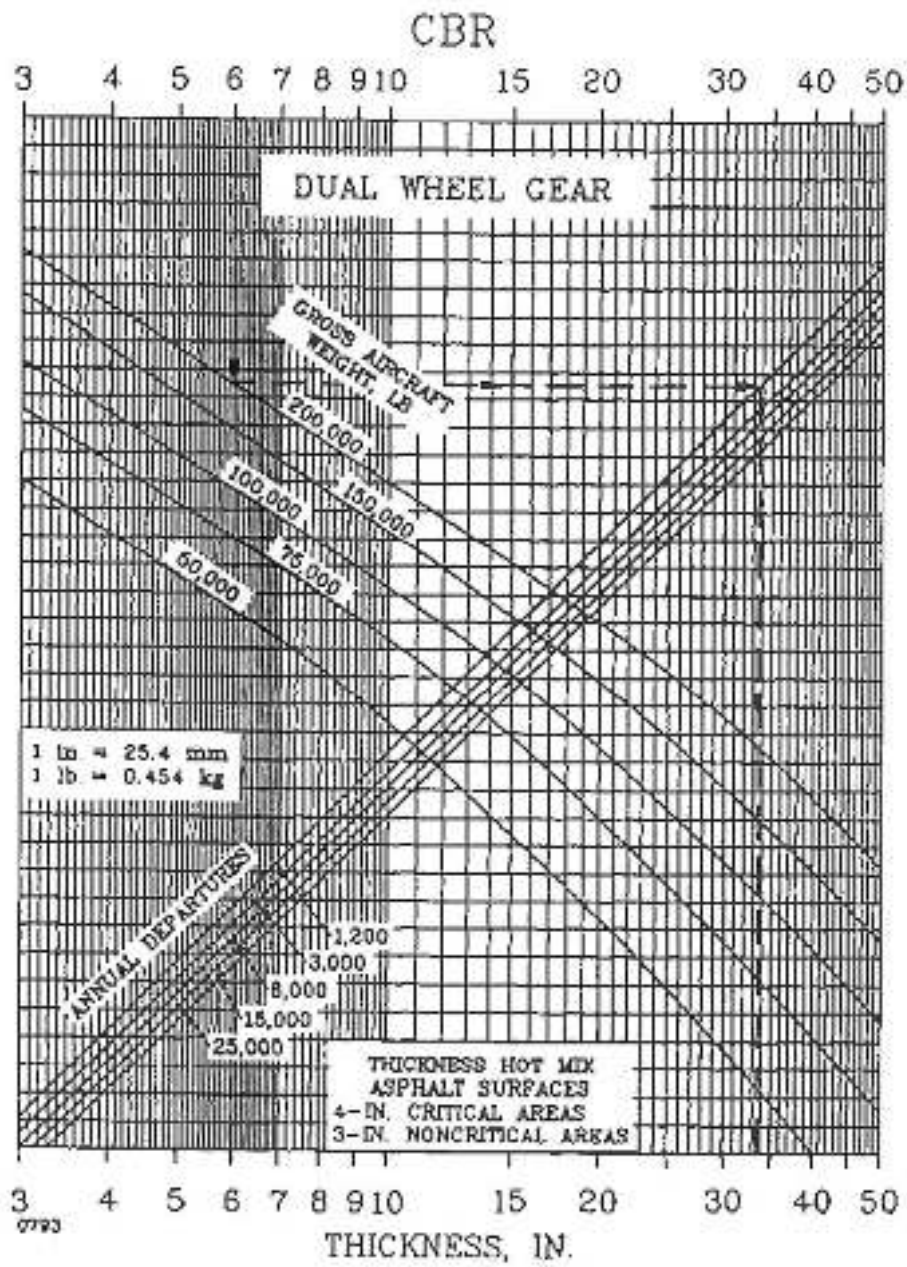
**g. Menentukan Tebal *Equivalent* Perkerasan**

Untuk menentukan tebal perkerasan, digunakan kurva korelasi antara CBR subgrade, annual departure (annual departure equivalent) dan daya dukung perkerasan yang telah dikembangkan oleh FAA untuk perkerasan lentur. ditampilkan pada Gambar 2.9 sampai Gambar 2.22 berikut. (Digunakan kurva sesuai dengan tipe roda pendaratan pesawat kritis).



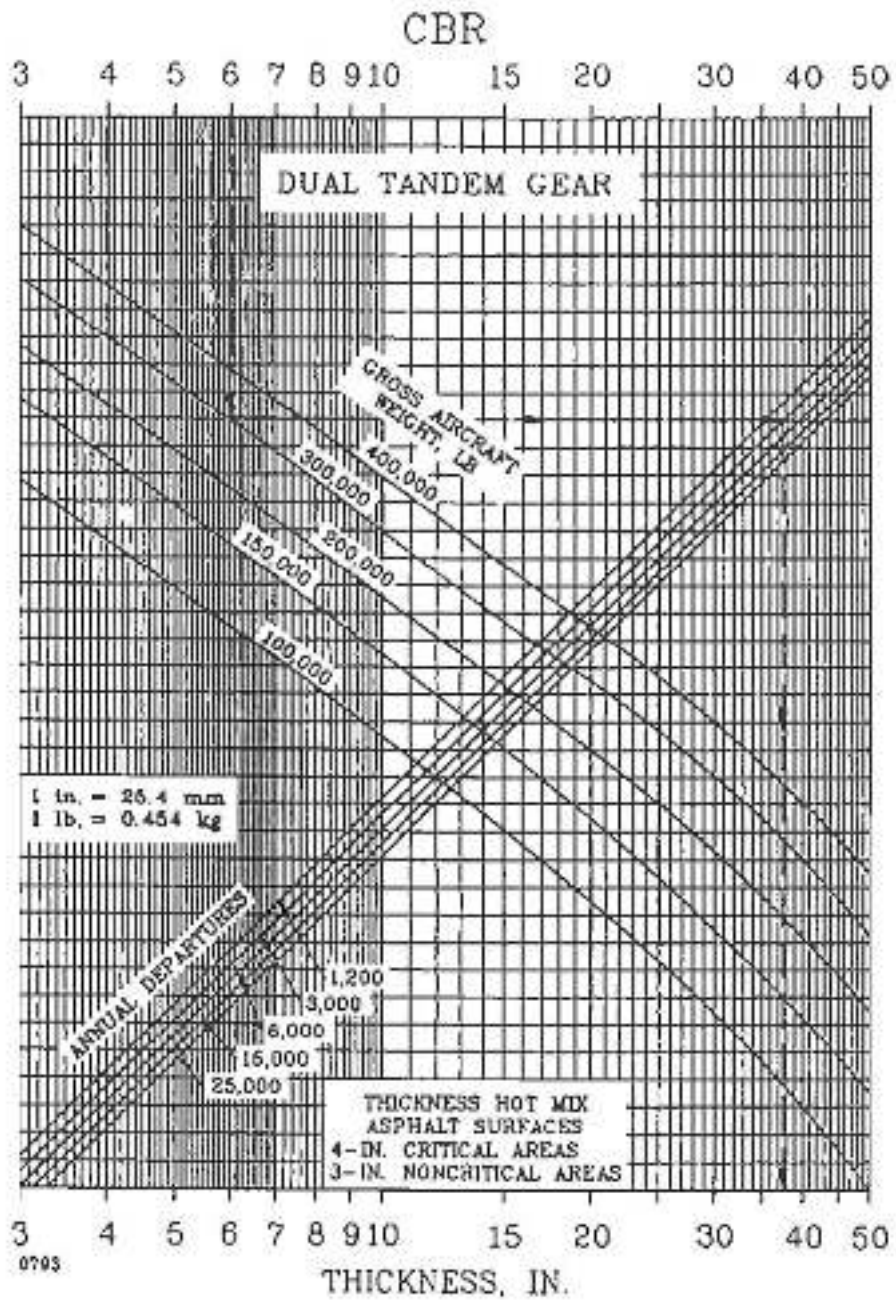
Gambar 2.9 Kurva Evaluasi Perkerasan Lentur untuk Pesawat dengan Tipe Roda *Single Wheel*

(Sumber: Dirjen Perhubungan Udara no. KP 93, 2015)



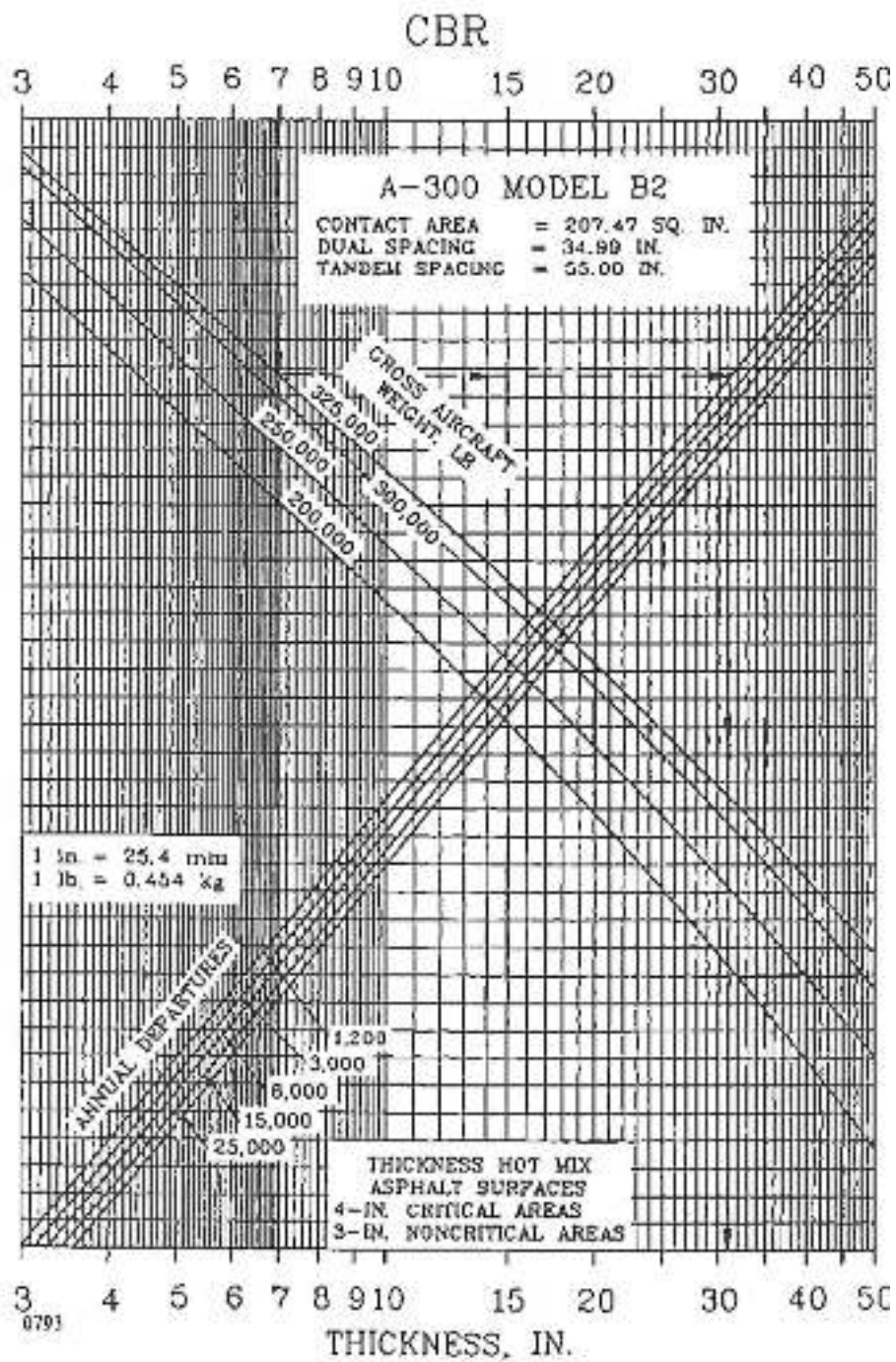
Gambar 2.10 Kurva Evaluasi Perkerasan Lentur untuk Pesawat dengan Tipe Roda *Dual Wheel*

(Sumber: Dirjen Perhubungan Udara no. KP 93, 2015)



Gambar 2.11 Kurva Evaluasi Perkerasan Lentur untuk Pesawat dengan Tipe Roda *Dual Tandem*

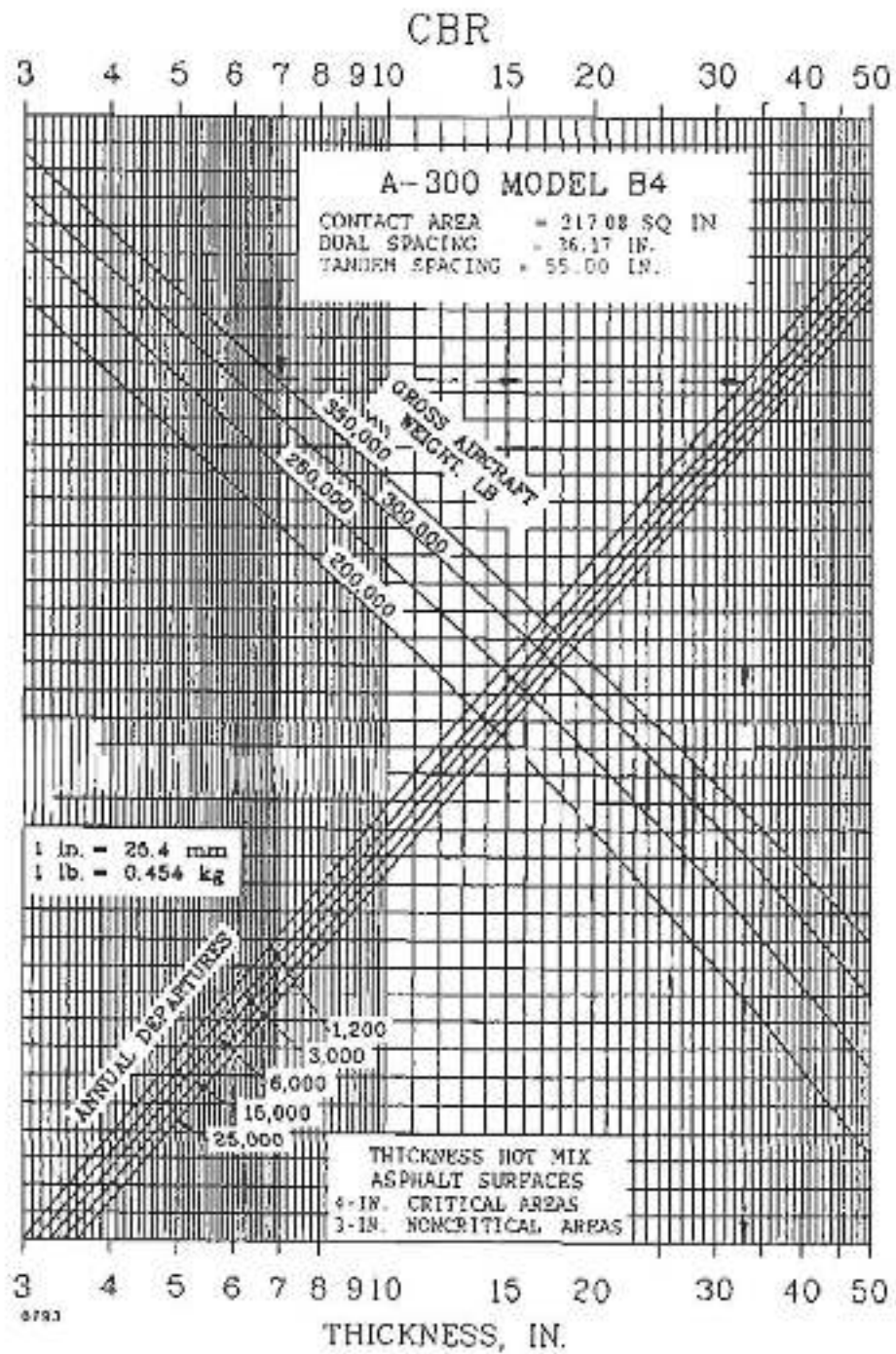
(Sumber: Dirjen Perhubungan Udara no. KP 93, 2015)



Gambar 2.12 Kurva Evaluasi Perkerasan Lentur untuk Pesawat A-300 Model B2

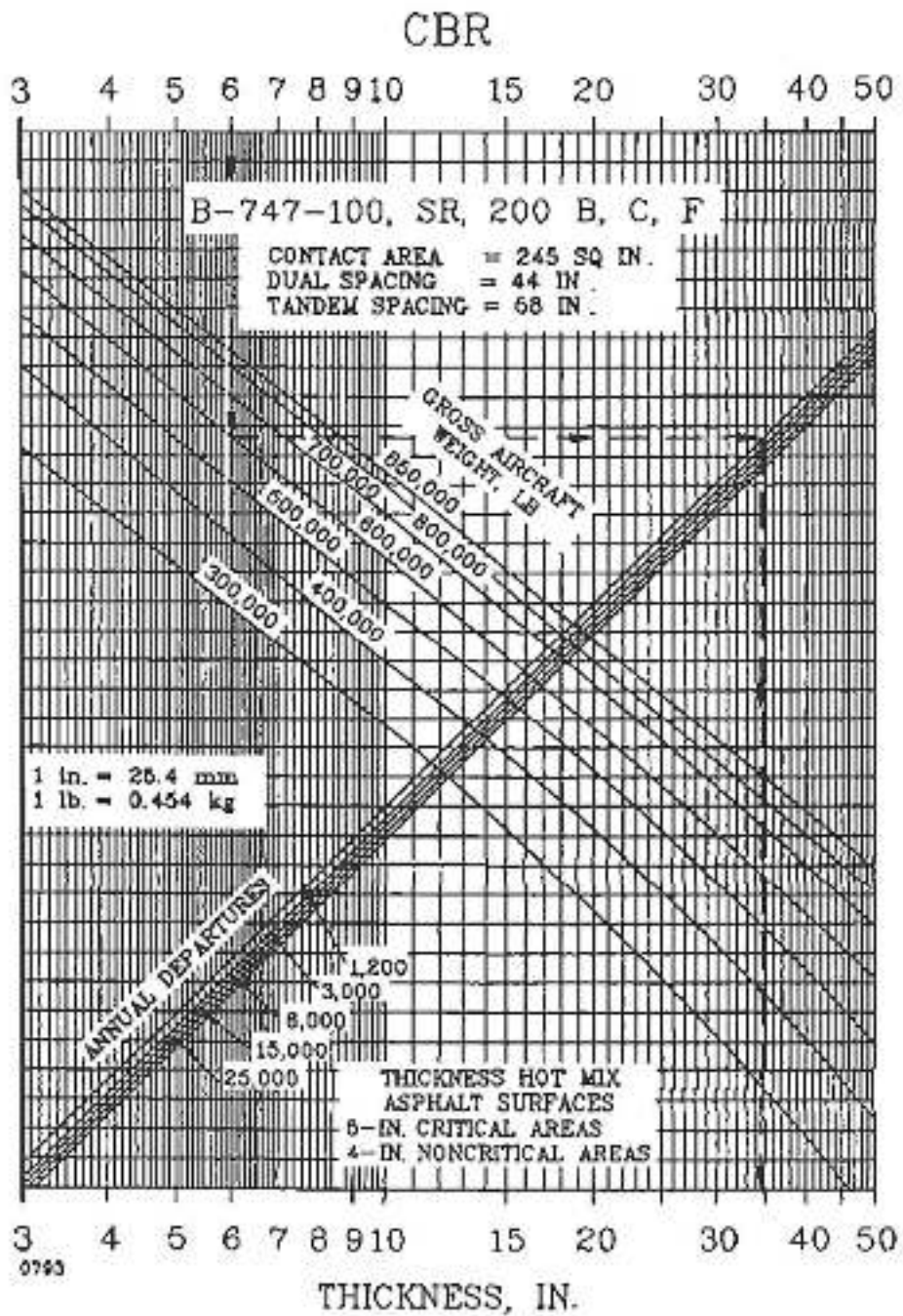
(Sumber: Dirjen Perhubungan Udara no. KP 93, 2015)





Gambar 2.13 Kurva Evaluasi Perkerasan Lentur untuk Pesawat A-300 Model B4

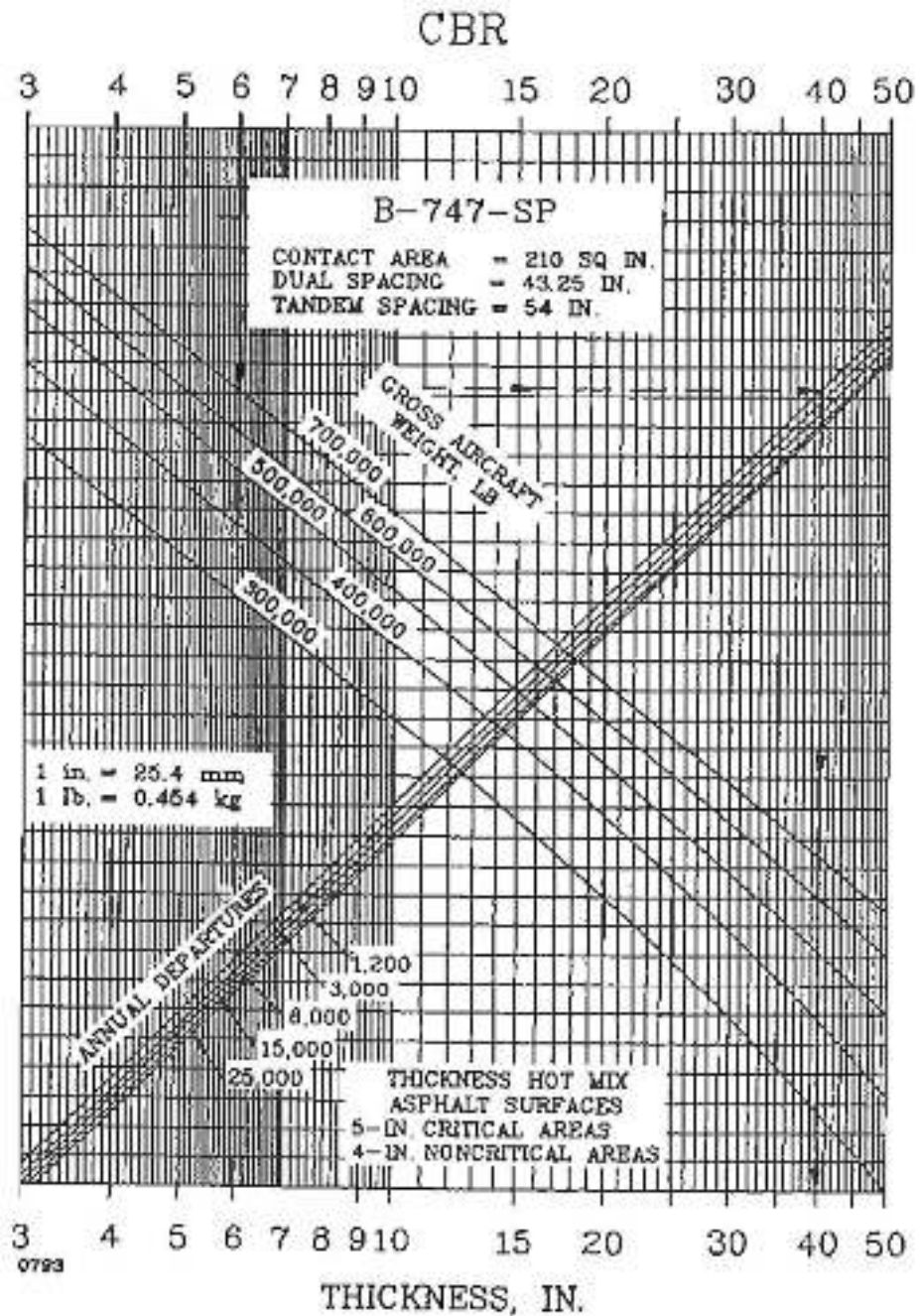
(Sumber: Dirjen Perhubungan Udara no. KP 93, 2015)



Gambar 2.14 Kurva Evaluasi Perkerasan Lentur Pesawat B 747-100, SR,200B,C,F

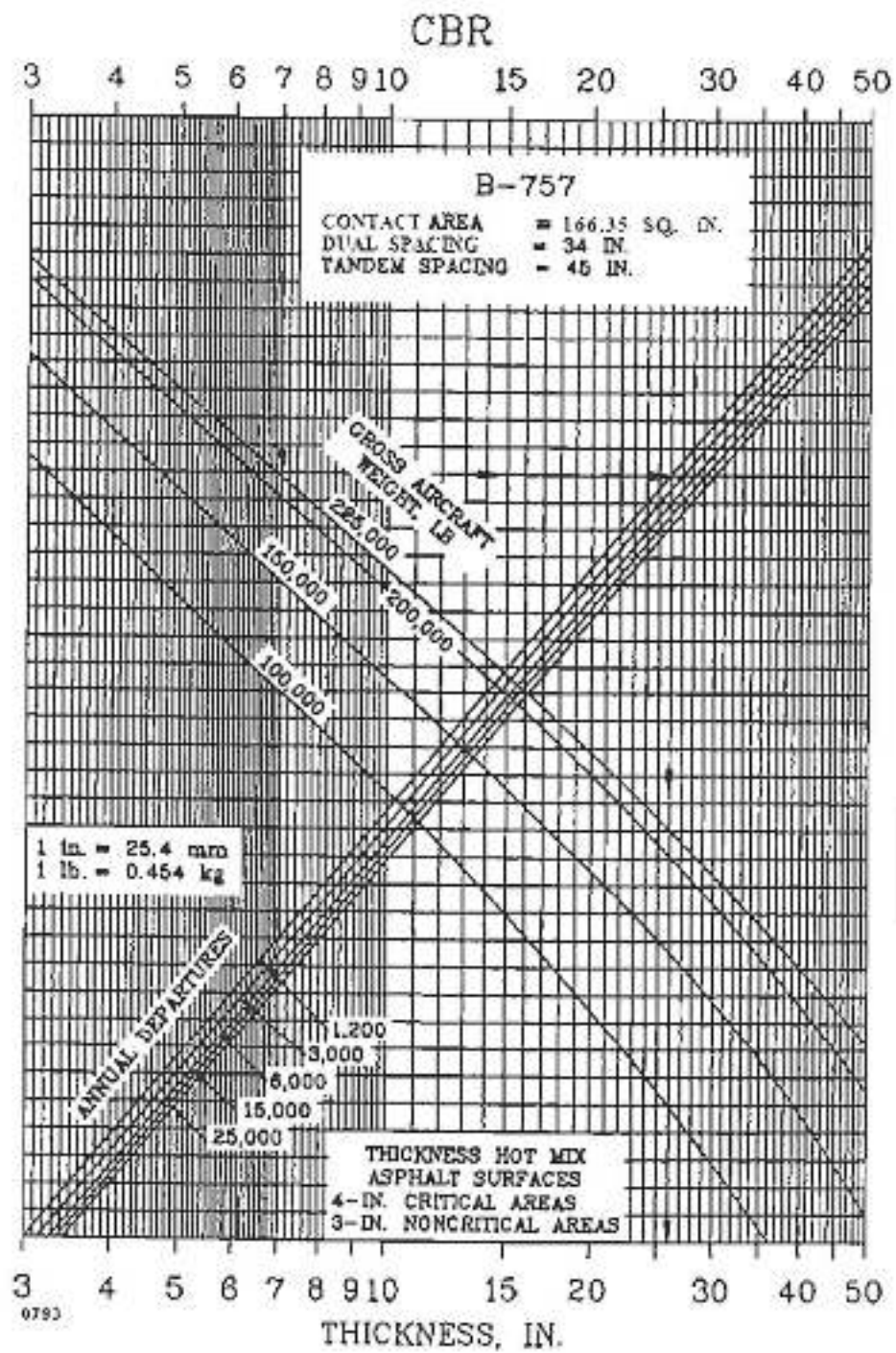
(Sumber: Dirjen Perhubungan Udara no. KP 93, 2015)





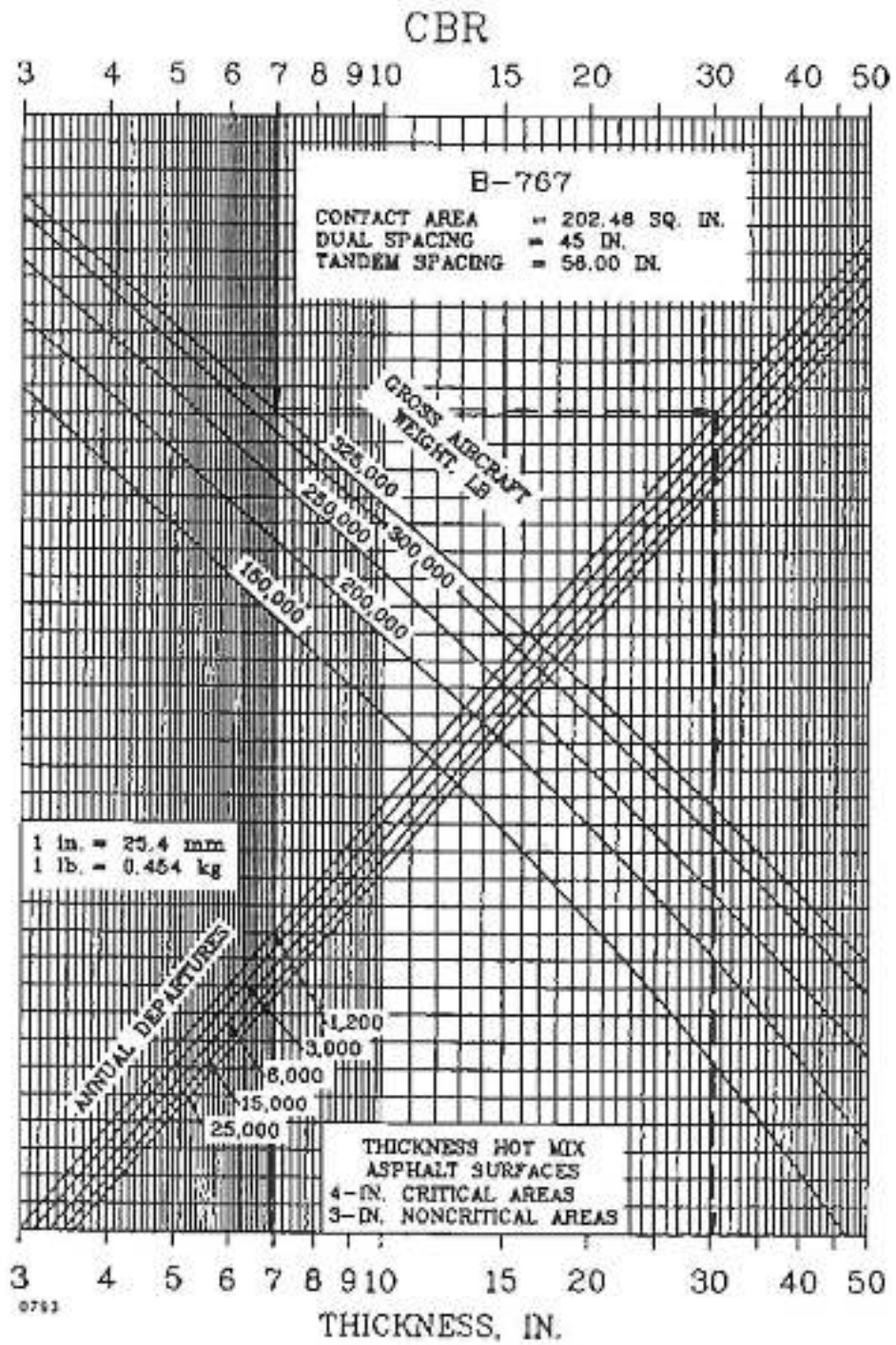
Gambar 2.15 Kurva Evaluasi Perkerasan Lentur untuk Pesawat B 747-SP

(Sumber: Dirjen Perhubungan Udara no. KP 93, 2015)



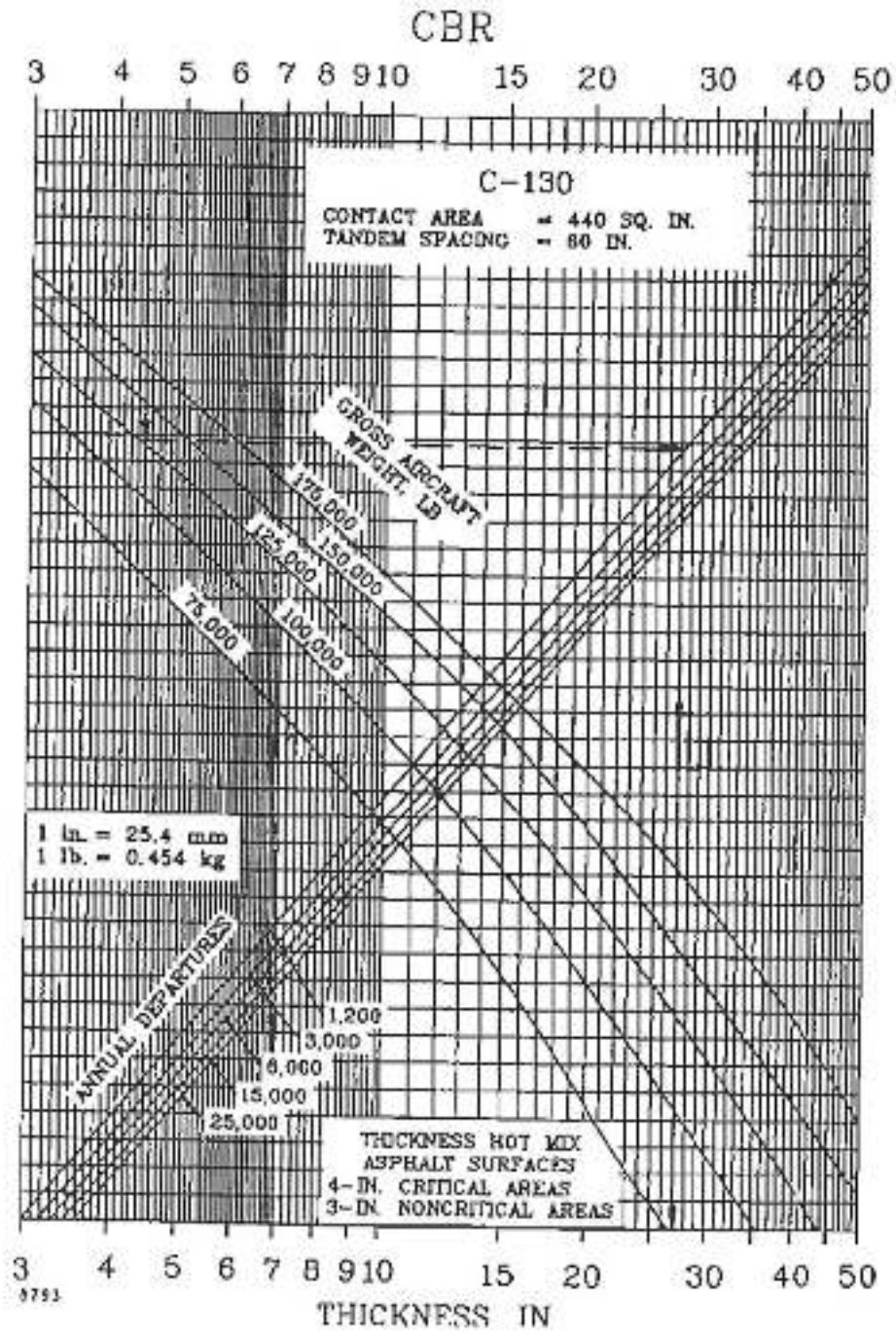
Gambar 2.16 Kurva Evaluasi Perkerasan Lentur untuk Pesawat B 757

(Sumber: Dirjen Perhubungan Udara no. KP 93, 2015)



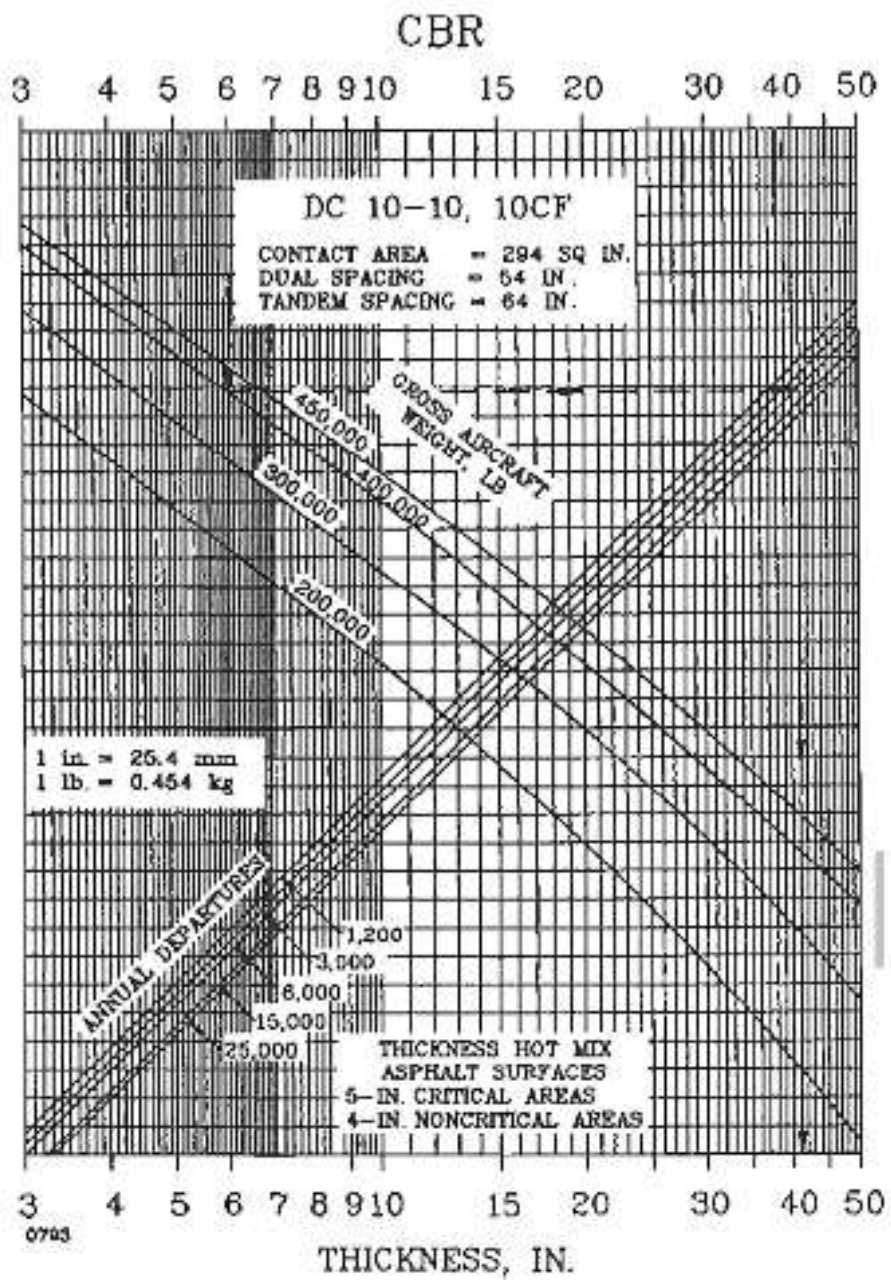
Gambar 2.17 Kurva Evaluasi Perkerasan Lentur untuk Pesawat B 767

(Sumber: Dirjen Perhubungan Udara no. KP 93, 2015)



Gambar 2.18 Kurva Evaluasi Perkerasan Lentur untuk Pesawat C-130

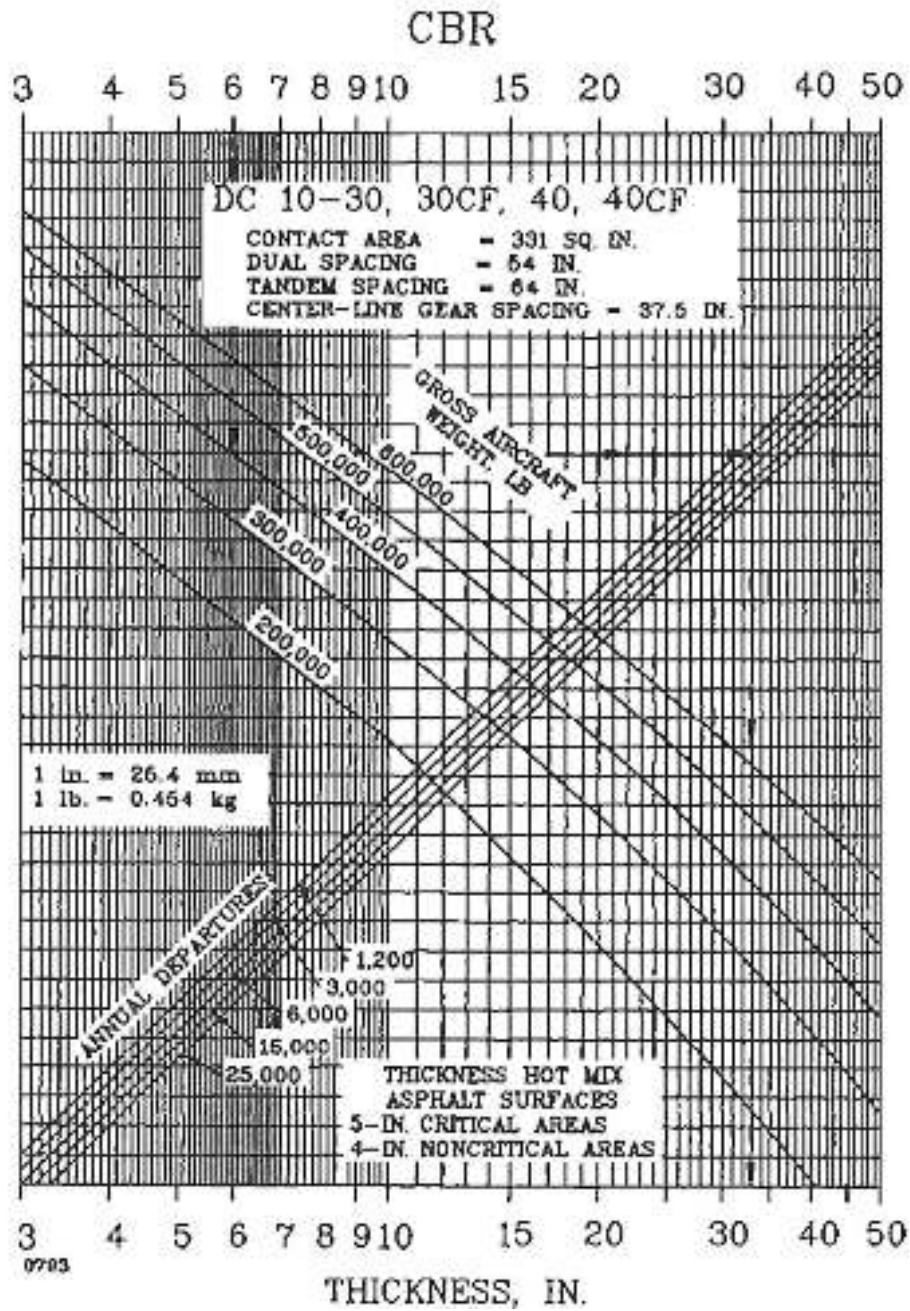
(Sumber: Dirjen Perhubungan Udara no. KP 93, 2015)



Gambar 2.19 Kurva Evaluasi Perkerasan Lentur untuk Pesawat DC-10-10, 10CF

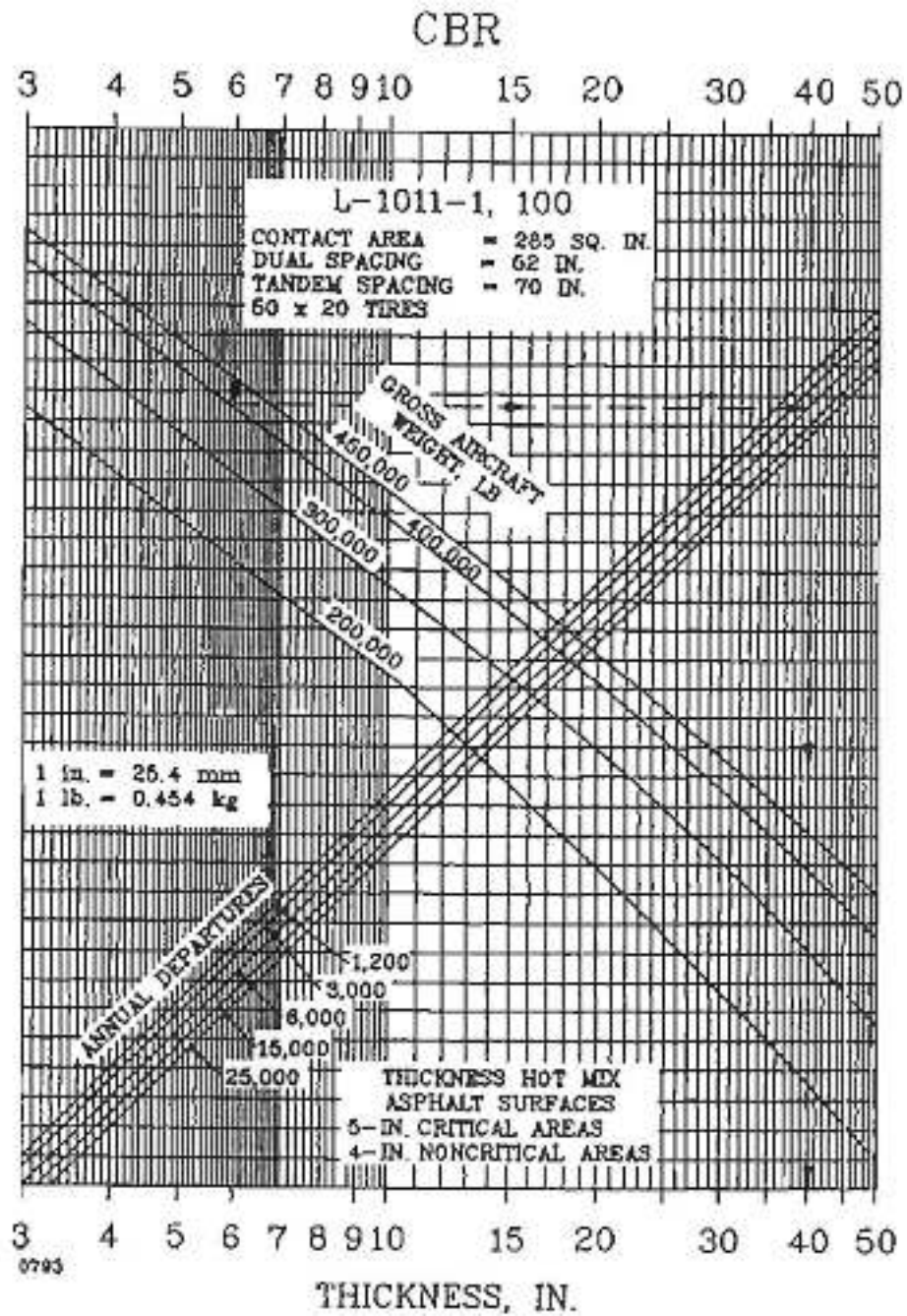
(Sumber: Dirjen Perhubungan Udara no. KP 93, 2015)





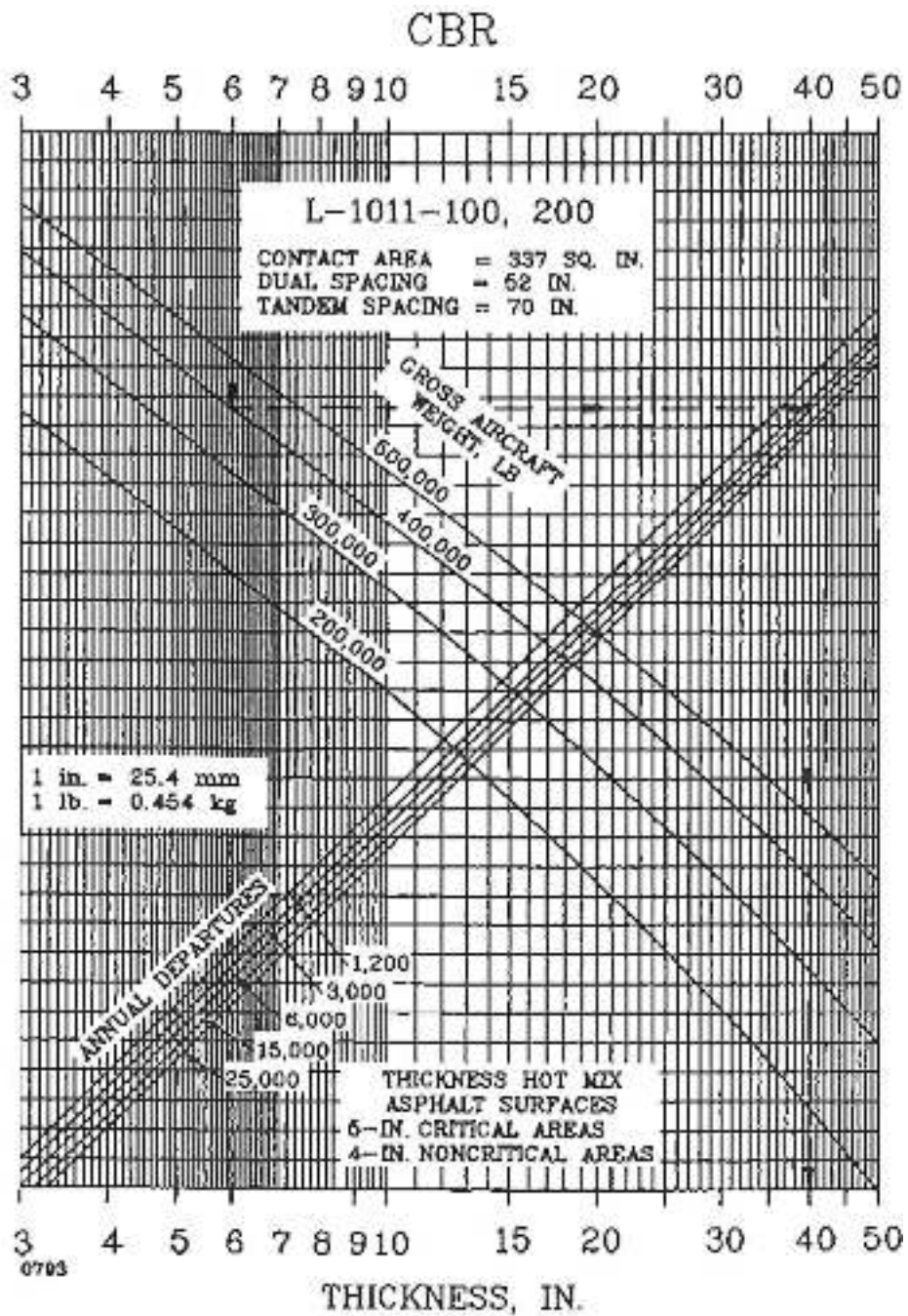
Gambar 2.20 Kurva Evaluasi Perkerasan Lentur untuk Pesawat DC-10-30 30CF, 40, 40CF

(Sumber: Dirjen Perhubungan Udara no. KP 93, 2015)



Gambar 2.21 Kurva Evaluasi Perkerasan Lentur untuk Pesawat L-1011-1, 100

(Sumber: Dirjen Perhubungan Udara no. KP 93, 2015)



Gambar 2.22 Kurva Evaluasi Perkerasan Lentur untuk Pesawat L-1011-100, 200

(Sumber: Dirjen Perhubungan Udara no. KP 93, 2015)



Setelah tebal evaluasi perkerasan didapat dari kerva korelasi antara CBR subgrade, annual departure (annual departure equivalent) dan daya dukung perkerasan, (Gambar 2.9 s/d Gambar 2.22) selanjutnya menentukan tebal dari tiap lapisan perkerasan. Sebagai berikut:

Nomen klatur lapisan perkerasan sistem FAA:

- P – 501 : Portland Cement Concrete (PCC)
- P – 401 : Plant Mix Bituminous Pavements (HMA)
- P – 403 : Plant Mix Bituminous Pavements (HMA)
- P – 306 : Econocrete Subbase Course (ESC)
- P – 304 : Cement Treated Base Course (CTBC)
- P – 212 : Shell Base Course
- P – 213 : Sand-Clay Base Course
- P – 220 : Caliche Base Course
- P – 209 : Crushed Aggregate Base Course
- P – 208 : Aggregate Base Course
- P – 211 : Lime Rock Base Course
- P – 301 : Soil-Cement Base Course
- P – 154 : Subbase Course
- P – 501 : Portland Cement Concrete (PCC)

1. Menentukan Tebal Minimum Lapisan Aus (*Surface*)

Menentukan tebal minimum lapisan aus (material P-401 dan P-403)

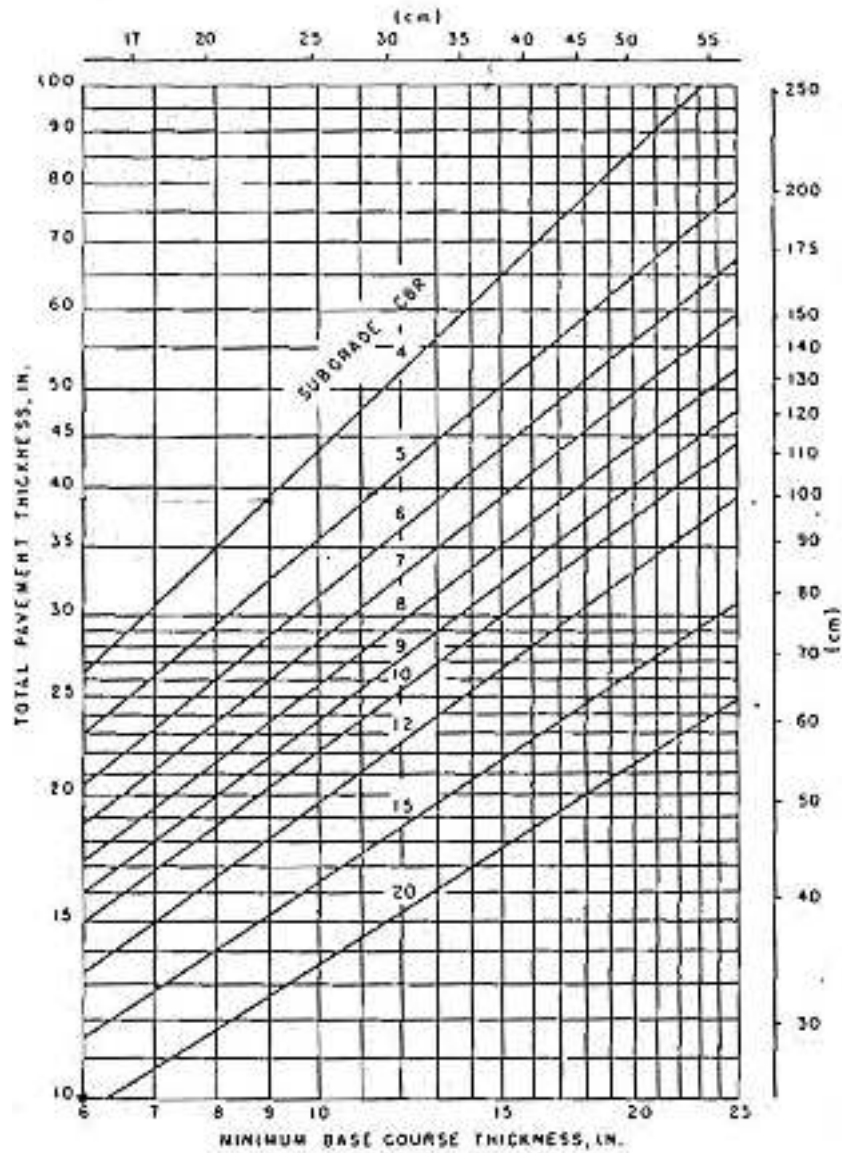
Tabel 2.10 Kebutuhan Tebal Minimum Lapisan aus (*surface*)

No	Bagian Perkerasan	Pesawat Single Wheel dan Dual Wheel	Pesawat B747, B777, DC 10, L 101 atau pesawat sejenis
1	Area Kritis (jalur roda)	10.0 cm (4 in)	12.7 cm (5 in)
2	Area diluar jalur roda	7.6 cm (3 in)	10.0 cm (4 in)

(Sumber: Dirjen Perhubungan Udara no. KP 93, 2015)

2. Menentukan Tebal Minimum *Base Course*

Kurva korelasi tebal lapisan *base course* minimum ditampilkan pada Gambar 2.23 dan Kebutuhan Tebal Minimum Lapisan *Base Course* ditampilkan pada Tabel 2.11.



Gambar 2.23 Kebutuhan Tebal Minimum Lapisan *Base Course*

(Sumber: Dirjen Perhubungan Udara no. KP 93, 2015)

Tabel 2.11 Kebutuhan Tebal Minimum Lapisan Base Course

Design Aircraft	Design Load Range		Minimum Base Course	
	Lbs	Kg	In	Mm
<b>Single Wheel</b>	30.000-50.000	13.600-22.700	4	100
	50.000-75.000	22.700-34.000	6	150
<b>Dual Wheel</b>	50.000-100.000	22.700-45.000	6	150
	100.000-200.000	45.000-90.700	8	200
<b>Dual Tandem</b>	100.000-250.000	45.000-113.400	6	150
	250.000-400.000	113.400-181.000	8	200
<b>B-757, B-767</b>	200.000-400.000	90.700-181.000	6	150
<b>DC-10, L-1011</b>	400.000-600.000	181.000-272.000	8	200
<b>B-747</b>	400.000-600.000	181.000-272.000	6	150
	600.000-850.000	272.000-385.700	8	200
<b>C-130</b>	75.000-125.000	34.000-56.700	4	100
	125.000-175.000	56.700-79.400	6	150

(Sumber: Dirjen Perhubungan Udara no. KP 93, 2015)

### 3. Menentukan Tebal Lapisan *Subbase*

Untuk mendapatkan tebal lapisan *subbase* dilakukan pengurangan antara (tebal lapisan total – tebal lapisan *surface* – lapisan *base course*).

Jika tebal lapisan perkerasan lebih besar dari tebal minimal, maka setiap lapis perkerasan di konversi dengan factor konversi. Jika tebal lapisan aspal dan/atau lapisan base course yang ada lebih kecil dari tebal minimal yang dibutuhkan, maka lapisan *subbase* direduksi dengan factor konversi lapisan aspal maupun lapisan base course. Faktor konversi yang telah ditetapkan oleh FAA dapat dilihat pada Tabel 2.12 berikut.

Tabel 2.12 Faktor Konversi Tebal Perkerasan FAA

<i>Structural Item</i>	<i>Description</i>	<i>Range Convert to P-209</i>	<i>Recommended Convert to P-209</i>	<i>Range Convert to P-154</i>	<i>Recommended Convert to P-154</i>
<b>P-501</b>	Portland Cement Concrete (PCC)	-	-	-	-
<b>P-401</b>	Plant Mix Bituminous Pavements (HMA)	1.2 to 1.6	1.6	1.7 to 2.3	2.3
<b>P-403</b>	Plant Mix Bituminous Pavements (HMA)	1.2 to 1.6	1.6	1.7 to 2.3	2.3
<b>P-306</b>	Econcrete Subbase Course (ESC)	1.2 to 1.6	1.2	1.6 to 2.3	1.6
<b>P-304</b>	Cement Treated Base Course (CTBC)	1.2 to 1.6	1.2	1.6 to 2.3	1.6
<b>P-212</b>	Shell Base Course	-	-	-	-
<b>P-213</b>	Sand-Clay Base Course	-	-	-	-
<b>P-220</b>	Caliche Base Course	-	-	-	-
<b>P-209</b>	Crushed Aggregate Base Course	1.0	1.0	1.2 to 1.6	1.4
<b>P-208</b>	Aggregate Base Course	1.0	1.0	1.0 to 1.5	1.2
<b>P-211</b>	Lime Rock Base Course	1.0	1.0	1.0 to 1.5	1.2
<b>P-301</b>	Soil-Cement Base Course	n/a	-	1.0 to 1.5	1.2
<b>P-154</b>	Subbase Course	n/a	-	1.0	1.0
<b>P-501</b>	Portland Cement Concrete (PCC)	Range Convert to P-401 2.2 to 2.5, 2.5 Recommended			

(Sumber: FAA)

Standar yang direkomendasikan oleh FAA, untuk masing-masing tebal perkerasan minimum dapat dilihat pada Tabel 2.13 berikut.

Tabel 2.13 Minimum Tebal Lapisan Perkerasan Lentur

Tipe Lapisan	Kode FAA	<i>Maximum Airplane Gross Weight Operating on Pavement, lbs (kg)</i>		
		<b>&lt;12.500 (5.670)</b>	<b>&lt;100.000 (45.360)</b>	<b>≥100.000 (45.360)</b>
<b><i>HMA Surface</i></b>	P-401, Hot Mix Asphalt	3 in. (75 mm)	4 in. (100 mm)	4 in. (100 mm)
<b><i>Stablized Base</i></b>	P-401 or P-403; P-304, P-306	Not Required	Not Required	5 in. (125 mm)
<b><i>Crushed Aggregate Base</i></b>	P-209	3 in. (75 mm)	6 in. (150 mm)	6 in. (150 mm)
<b><i>Aggregate Base</i></b>	P-208	3 in. (75 mm)	Not used	Not used
<b><i>Subbase</i></b>	P-154	4 in. (100 mm)	4 in. (100 mm) (if required)	4 in. (100 mm) (if required)

(Sumber: FAA)

## 2.9 PCN (*Pavement Classification Number*)

### 2.9.1 Pengertian PCN

PCN (*Pavement Classification Number*) atau klasifikasi nomor perkerasan adalah suatu angka yang mencerminkan kapasitas relative suatu perkerasan dalam mendukung suatubeban pesawat udara yang bekerja pada landas pacu, nilai PCN dari suatu perkerasan tidak boleh lebih rendah dari ACN pesawat kritis yang beroperasi pada landas pacu tersebut. Besarnya nilai PCN dapat dipengaruhi:

1. Berat pesawat kritis (*critical aircraft*) yang beropasi, merupakan pesawat yang memberikan kecenderungan kerusakan paling besar pada perkerasan landas pacu yang dipengaruhi berat pesawat dan frekuensi keberangkatan pesawat.
2. Daya dukung tanah dasar, yang dinyatakan dalam CBR % maupun K
3. Konfigurasi roda dan tekanan roda pendaratan pesawat
4. Banyaknya keberangkatan tahunan (*Annual Departure*)

### **2.9.2 Tujuan Perhitungan PCN**

Menurut Peraturan Dirjen Perhubungan Udara Nomor KP 93 tahun 2015 mengenai *Pedoman Perhitungan PCN Perkerasan Prasarana Bandar Udara*, perhitungan PCN merupakan salah satu bagian dalam evaluasi sistem perkerasan *runway*, *taxiway* dan apron bandar udara. Selain untuk kebutuhan operasional pesawat khususnya beban ijin pesawat operasional, terdapat beberapa tujuan perhitungan PCN sebagai berikut:

1. Sebagai parameter dalam menyusun peningkatan dan pemeliharaan di masa depan;
2. Sebagai parameter untuk pengoperasian Kembali prasarana yang tidak digunakan dalam waktu tertentu;
3. Sebagai parameter untuk mengevaluasi pengoperasian pesawat dengan beban lebih besar dari pesawat yang sedang beroperasi;
4. Sebagai parameter dalam menilai daya dukung perkerasan setelah dioperasikan dalam jangka waktu tertentu.

### **2.9.3 Komponen PCN**

Komponen PCN disusun berdasarkan informasi kode yang telah distandarkan yang meliputi nilai numerik PCN, jenis perkerasan, daya dukung tanah dasar, tekanan pada roda pendaratan dan metode pelaksanaan evaluasi. Adapun ketentuan penulisan nilai PCN adalah sebagai berikut:

1. Nilai numerik kekuatan perkerasan terdiri dari angka 1 sampai dengan tak terhingga
2. Jenis perkerasan terdiri dari perkerasan kaku dengan simbol huruf (R) dan perkerasan lentur dengan simbol huruf (F).
3. Kategori subgrade dibagi menjadi empat kategori baik untuk perkerasan kaku maupun perkerasan lentur, yaitu kategori A, B, C, atau D. Penentuan kategori kekuatan subgrade tercantum dalam Tabel 2.14 dan Tabel 2.15.

Tabel 2.14 Kategori Daya Dukung Subgrade untuk Perkerasan Lentur

No	Kategori Subgrade	Nilai CBR Subgrade (%)	Interval Nilai CBR Subgrade (%)	Kode
1	<i>High</i>	15	$CBR \geq 13$	A
2	<i>Medium</i>	10	$8 < CBR < 13$	B
3	<i>Low</i>	6	$4 < CBR \leq 8$	C
4	<i>Ultra Low</i>	3	$CBR \leq 4$	D

Sumber: Dirjen Perhubungan Udara no. KP 93, 2015

Tabel 2.15 Kategori Daya Dukung Subgrade untuk Perkerasan Kaku

No	Kategori Subgrade	Nilai K Permukaan Subgrade Pci (MN/m <sup>3</sup> )	Interval Nilai K Permukaan Subgrade Pci (MN/m <sup>3</sup> )	Kode
1	<i>High</i>	555.6 (150)	$K > 442 (>120)$	A
2	<i>Medium</i>	294.7 (80)	$221 < K < 442$ $(60 < K < 120)$	B
3	<i>Low</i>	147.4 (40)	$92 < K < 221$ $(25 < K < 60)$	C
4	<i>Ultra Low</i>	73.7 (20)	$K < 92 (< 25)$	D

Sumber: Dirjen Perhubungan Udara no. KP 93, 2015

4. Tekanan ijin roda terdiri dari empat kategori, yaitu W, X, Y atau Z seperti tercantum dalam Tabel 2.16.

Tabel 2.16 Kategori Tekanan Ijin Roda Pesawat

No	Kategori	Tekanan Ijin (Mpa/Psi)	Kode
1	<i>High</i>	Tidak terbatas	W
2	<i>Medium</i>	1.5 / 218	X
3	<i>Low</i>	1.0 / 145	Y
4	<i>Ultra Low</i>	0.5 / 73	Z

Sumber: Dirjen Perhubungan Udara no. KP 93, 2015

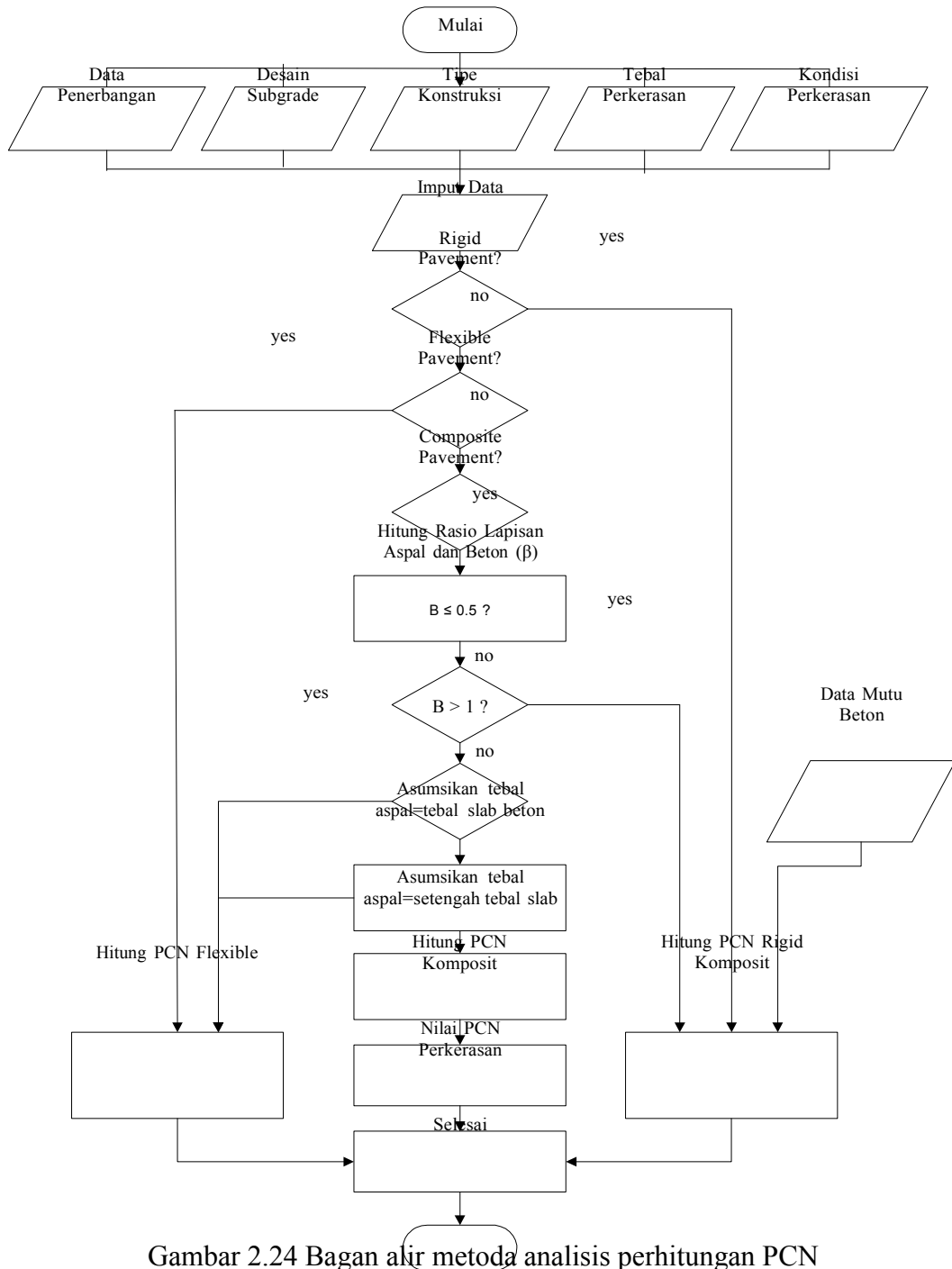
5. Metode evaluasi terdiri dari pengujian langsung dengan pesawat analog ditunjukkan dengan huruf (U) dan dengan perhitungan analitis ditunjukkan dengan huruf (T).

### **2.10 Perhitungan PCN**

Pada perhitungan PCN langkah pertama adalah inventarisasi data baik data sekunder maupun data primer dengan pengujian langsung dilapangan. Data masukan berupa data penerbangan baik eksisting maupun rencana masa depan, desain kategori subgrade, tipe konstruksi perkerasan, tebal desain dan kondisi lapisan perkerasan. Pada Gambar 2.24 tahapan-tahpan atau bagan alir perhitungan PCN perkerasan.



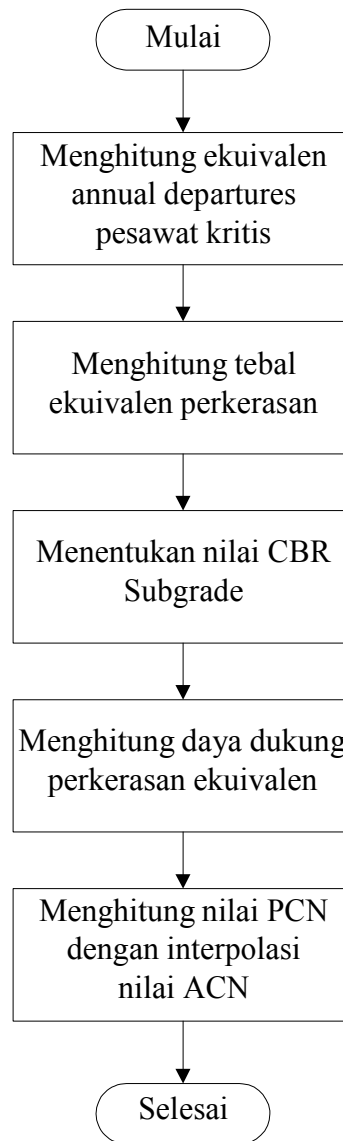
## 2.11 Bagan Alir metoda analisis perhitungan PCN



Gambar 2.24 Bagan alir metoda analisis perhitungan PCN

(Sumber: Dirjen Perhubungan Udara no. KP 93, 2015)

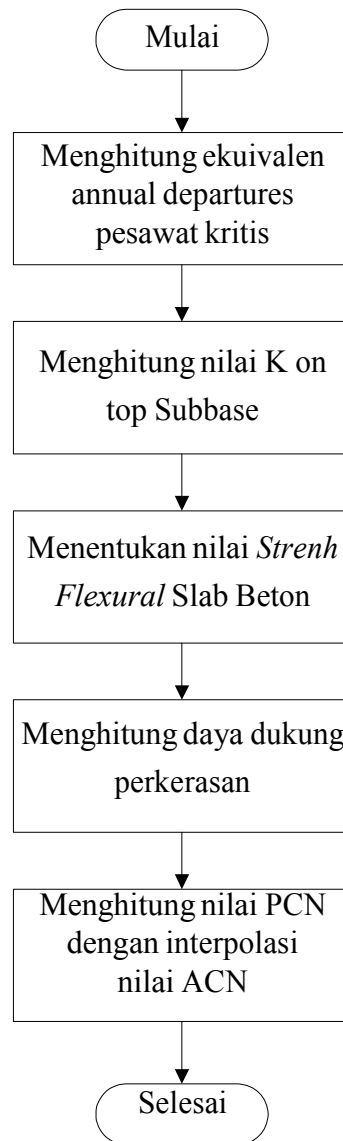
### 2.11.1 Bagan alir perhitungan PCN *Flexible Pavement* metode klasik



Gambar 2.25 Bagan alir perhitungan PCN *Flexible Pavement* metode klasik

(Sumber: Dirjen Perhubungan Udara no. KP 93, 2015)

### 2.11.2 Bagan alir perhitungan PCN *Rigid Pavement* metode klasik



Gambar 2.26 Bagan alir perhitungan PCN *Rigid Pavement* metode klasik

(Sumber: Dirjen Perhubungan Udara no. KP 93, 2015)

## 2.12 Perhitungan Nilai PCN Metode Klasik

Perhitungan PCN metode klasik diatur pada Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Udara nomor KP 93 tahun 2015 tentang pedoman perhitungan PCN Perkerasan Prasarana Bandar Udara. Tahapan perhitungan nilai PCN metode klasik terdiri atas: menghitung *equivalent annual departure* pesawat kritis, menghitung tebal ekivalen perkerasan, menentukan nilai CBR *subgrade*, menghitung nilai daya dukung perkerasan ekivalen, dan perhitungan nilai PCN dengan interpolasi nilai ACN. Berikut tahapan dalam perhitungan nilai PCN metode klasik:

### 1. Menghitung Equivalent Annual Departure Pesawat Kritis

Berbagai jenis pesawat yang beroperasi pada suatu Bandar Udara memiliki variasi tipe roda pendaratan (Gambar 2.2) dan beban yang berbeda-beda. Dalam perhitungan PCN metode klasik, efek dari variasi pesawat udara yang beroperasi dihitung berdasarkan pesawat kritis. Perhitungan *equivalent annual departure* dilakukan dengan mengkonversi *landing gear* semua pesawat yang beroperasi ke pesawat kritis. Tabulasi dalam menghitung *equivalent annual departure* dapat dilihat pada Tabel 2.9, dan dihitung dengan persamaan ( 2.2 ).

### 2. Menghitung Tebal Equivalent Perkerasan

Dalam perhitungan PCN, tebal perkerasan yang dianalisa adalah tebal perkerasan ekuivalen. Berikut adalah langkah-langkah dalam perhitungan tebal ekivalen perkerasan.

#### a) Menentukan Tebal Minimum Lapisan Aus (*Surface*)

Menentukan tebal minimum lapisan aus (material P-401 dan P-403). Kebutuhan tebal lapisan campuran aspal minimal ditampilkan dalam Tabel 2.10

#### b) Menentukan Tebal Minimum *Base Course*

Untuk menghitung tebal lapisan base course minimum digunakan kurva korelasi antara tebal perkerasan (total pavement thickness) dan CBR *subgrade*. Kurva korelasi tebal lapisan *base course* minimum ditampilkan pada Gambar 2.23 dan Kebutuhan Tebal Minimum Lapisan *Base Course* ditampilkan pada Tabel 2.11.

c) Menentukan Tebal Lapisan *Subbase*

Untuk mendapatkan tebal lapisan *subbase* dilakukan pengurangan antara (tebal lapisan total – tebal lapisan *surface* – lapisan *base course*).

### 3. Menentukan Nilai CBR Subgrade

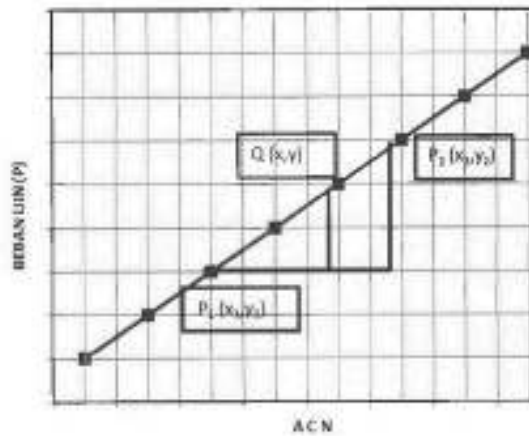
Pada area yang memiliki daya dukung rendah atau pada tanah kohesif dengan konsistensi *soft* atau *very soft* atau pada *loose sand*, pilihan yang relative ekonomis untuk meningkatkan daya dukung tanah adalah dengan mengganti tanah lunak dengan material yang lebih baik. Untuk menentukan nilai CBR evaluasi jika terdapat penggantian tanah dasar dengan material lain untuk perkerasan lentur dapat menggunakan kurva pada Gambar 2.6 dan Gambar 2.7; Gambar 2.8. Langkah penentuan nilai CBR pada dua lapis subgrade dimana nilai CBR lapisan atas lebih tinggi dari nilai CBR lapisan dibawahnya adalah sebagai berikut:

### 4. Menentukan Daya Dukung Perkerasan

Daya dukung perkerasan yaitu kemampuan untuk menahan tekanan atau beban yang ada diatasnya dengan aman tanpa menimbulkan keruntuhan geser dan penurunan berlebih. Untuk menghitung daya dukung perkerasan dibutuhkan data berat pesawat dan nilai ACN pesawat rencana/kritis yang beroperasi, dan dihitung menggunakan persamaan ( 2.3 )

### 5. Menghitung Nilai PCN

Menghitung nilai PCN dengan interpolasi linier nilai ACN pesawat sesuai dengan daya dukung perkerasan. ACN berbagai jenis pesawat dapat dilihat pada Tabel 2.17 atau pada sumber lain. Interpolasi linier dilakukan berdasarkan persamaan garis lurus melalui dua titik P1 dan P2 seperti ditampilkan pada Gambar 2.27 berikut.



Gambar 2.27 Kurva Interpolasi Linier

(Sumber: Dirjen Perhubungan Udara no. KP 93, 2015)

Persamaan garis lurus melalui dua titik P1 dan P2 dapat dituliskan dengan:

$$\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} = \frac{y - y_1}{y_2 - y_1} \quad (2.4)$$

Sehingga diperoleh persamaan dari interpolasi sebagai berikut:

$$x = x_1 + (x_2 - x_1) \frac{y - y_1}{y_2 - y_1} \quad (2.5)$$

Jika:

X : nilai PCN yang akan dihitung

X1 : ACN minimum

X2 : ACN maksimum

Y : beban ijin perkerasan (P)

Y1 : beban minimum pesawat (P min)

Y2 : beban maksimu pesawat (P maks)

Maka persamaan interpolasi dapat ditulis,

$$PCN = ACN_{min} + (ACN_{maks} - ACN_{min}) \left( \frac{P - P_{min}}{P_{maks} - P_{min}} \right) \quad (2.6)$$

Dimana:

ACN min	=	ACN min yang didapat untuk pesawat kritis
ACN maks	=	ACN maks yang didapat untuk pesawat kritis
Pmin	=	Beban minimum pesawat kritis
Pmaks	=	Beban maksimum pesawat kritis
P	=	Beban yang diijinkan bekerja

### 2.13 ACN (*Aircraft Classification Number*)

ACN merupakan suatu nilai yang menunjukkan efek relative sebuah pesawat udara di atas pavement untuk kategori subgrade standar yang ditentukan. ACN dapat dihitung melalui permodelan matematika baik untuk perkerasan kaku (*rigid pavement*) maupun perkerasan lentur (*flexible pavement*). Nilai ACN dipublikasikan dalam 2 (dua) kategori perkerasan, yaitu lentur dan kaku pada kategori daya dukung lapisan subgrade tertentu seperti ditampilkan dalam tabel, serta kondisi beban maksimum dan beban minimum pesawat. Pada umumnya, nilai ACN untuk semua jenis pesawat (pesawat sipil) diterbitkan oleh pabrik pembuat pesawat. Pada Tabel 2.17 berikut adalah contoh nilai ACN dari beberapa jenis dan tipe pesawat.

Tabel 2.17 Contoh nilai ACN berbagai jenis pesawat

Type Pesawat	Maksimum Apron Mass and Operating Empty Mass		Load On One Main Gear Leg	Standard Aircraft Tire Pressure			ACN relative to							
							Rigid pavement subgrade				Flexible pavement subgrade			
							A	B	C	D	A	B	C	D
							High K=150	Medium K=80	Low K=40	Ultra low K=20	High CBR=15	Medium CBR=10	Low CBR=6	Very low CBR=3
	lbs	kgs	%	Psi	Kg/cm <sup>2</sup>	Mpa	MN/m <sup>3</sup>	MN/m <sup>3</sup>	MN/m <sup>3</sup>	MN/m <sup>3</sup>	%	%	%	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Airbus A300-B2	304014 192371	137900 87259	47.0	174	12.2	1.20	34 19	41 22	49 26	57 31	35 20	39 21	47 24	62 32
ATR 72 Basic Tires	47466 26896	21530 12200	47.8	114	8.01	0.79	13 6	13 7	14 7	15 8	11 5	12 6	14 7	15 8
B737-100	97800 57200	44361 25945	45.9	157	11.04	1.08	27 12	24 13	26 14	27 15	21 11	22 12	25 13	29 15

Sumber: Dirjen Perhubungan Udara no. KP 93, 2015



## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini mengambil studi kasus Bandar Udara Dr. Ferdinand Lumbantobing - Tapanuli Tengah yang berlokasi di jln. Jend. Ahmad Yani – Pinangsori Tapanuli Tengah Sumatera Utara, yang saat ini dikelola oleh Ditjen. Perhubungan Udara. lokasi Bandar Udara Dr. Ferdinand Lumbantobing Tapanuli Tengah dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut.

#### 3.2 Peta Lokasi



Gambar 3.1 Lokasi Bandar Udara Dr.F. Lumbantobing Tapanuli Tengah

(Sumber: [www.Perkim.id](http://www.Perkim.id) / Google Maps, diakses 04 Juli 2021)

### 3.3 Jenis Penelitian

Proses penelitian ini menggunakan desain penelitian studi kasus observasi dengan menggunakan jenis penelitian lapangan, dimana studi yang dilakukan oleh peneliti untuk mengkaji atau menganalisis subjek yang bersifat benda fisik. Sehingga pada studi kasus observasi mengharuskan peneliti turun langsung ke lapangan untuk mendapatkan data-data yang dibutuhkan.

### 3.4 Pengumpulan Data

Pada penelitian ini menggunakan data sekunder yang didapatkan dari observasi pada institusi terkait yaitu UPT Ditjen Hubud Bandar Udara Dr. Ferdinand Lumbantobing Tapanuli Tengah (2021), dengan data yang diperoleh adalah sebagai berikut:

a. Spesifikasi Bandar Udara (Tahun 2021)

Nama	: Dr. Ferdinand Lumbantobing-Tapanuli Tengah
Klasifikasi Bandara	: Kelas III (Tiga)
Luas Areal Bandara	: 183, 03 Ha
Koordinat	: 01 <sup>0</sup> 33'12, 84492" N 98 <sup>0</sup> 53'37, 65374" E
Kode ICAO/IATA	: WIMS / FLZ
Jarak dari kota	: ± 20 km
Jam Operasi	: 00;00 s/d 07;00 UTC (07;00 s/d 14;00 WIB)
Landasan Pacu	: Arah : 12-30
	Dimensi : 2190 m x 30 m
	PCN : 34 FCYT

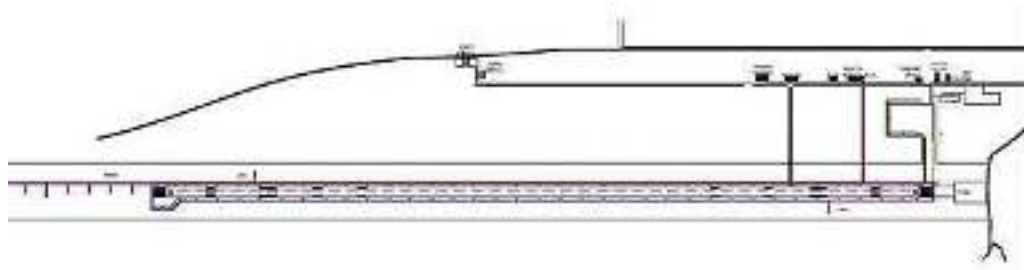
*(Sumber: Unit Pelaksana Bandar Udara Dr.F. L Tobing Tapanuli Tengah)*

Bandara Dr.F. Lumbantobing saat ini memiliki konfigurasi landas pacu tunggal dengan panjang 2190 meter dan lebar 30 meter. Permukaan landasan pacu (*runway*) yang digunakan pada bandara ini adalah perkerasan lentur (*flexible-pavement*). Pada Gambar 3.2 ditampilkan layout landasan pacu bandara Dr.F. Lumbantobing berdasarkan gambar yang di ambil dari satelit Google Maps.



Gambar 3.2 Layout bandara Dr.F. Lumbantobing

*(Sumber: Google Maps, diakses 04 Juli 2021)*



Gambar 3.3 Detail Layout Bandar Udara Dr.F. Lumbantobing

*(Sumber: [www.hubud.dephub.go.id](http://www.hubud.dephub.go.id))*



Gambar 3.4 Runway Arah 12

*(Sumber: [www.hubud.dephub.go.id](http://www.hubud.dephub.go.id))*



Gambar 3.5 Runway Arah 30

(Sumber: [www.hubud.dephub.go.id](http://www.hubud.dephub.go.id))

b. Data Kriteria Desain

kriteria desain yang digunakan pada landasan pacu (*runway*) bandara Dr. F. Lumbantobing sebagai berikut:

Tipe Kontruksi : Asphalt Concrete

Kemampuan : PCN 34 FCYT

Dari desain kemampuan di atas ditentukan:

Jenis perkerasan : F (Perkerasan Lentur/*Flexible Pavement*)

Daya dukung subgrade : C (CBR = 6 %) → *Low*

Tekanan izin roda pesawat : Y (1 Mpa = 145 Psi)

Metoda evaluasi : T (Perhitungan Analitis)

PCN : 34

c. Data frekuensi pergerakan pesawat tahunan (*annual departure*).

Data frekuensi pergerakan pesawat yang beroperasi pada bandara Dr. F. Lumbantobing dapat dilihat pada Tabel 3.1 dibawah ini.

Tabel 3.1 Annual Departure Bandara F.L Tobing 2021

Jenis Pesawat	Frekuensi Penerbangan	<i>Annual Departure</i>
ATR 72-500	2 Kali Sehari	730

<b>Jenis Pesawat</b>	<b>Frekuensi Penerbangan</b>	<i>Annual Departure</i>
Bombardier CRJ 1000 Next Gen	2 Kali Sehari	730
ATR 72-600	3 Kali Seminggu	144
Cessna Caravan	2 Kali Seminggu	96

*Sumber: Unit Pelaksana Bandar Udara Dr. F L Tobing*

d. Data karakteristik pesawat

Data karakteristik pesawat pada bandara Dr. F. Lumbantobing dapat dilihat pada Tabel 3.2 dibawah ini.

Tabel 3.2 Berat lepas landas dan tipe roda pendaratan utama pesawat

<b>Jenis Pesawat</b>	<b>MTOW</b>		<b>Tipe Roda</b>	<b>Jumlah Roda</b>
	<b>Lbs</b>	<b>Kg</b>		
ATR 72-500	50265	22800	Dual Wheel	4
Bombardier CRJ 1000 Next Gen	91800	41632	Dual Wheel	4
ATR 72-600	50705	23000	Dual Wheel	4
Cessna Caravan	8807	3995	Single Wheel	2

*Sumber: Unit Pelaksana Bandar Udara Dr. F L Tobing*

e. Data teknis perkerasan landas pacu (*runway*), meliputi data CBR tanah dasar dan tebal perkerasan eksisting landas pacu.

- CBR Tanah dasar = 6 % dengan kategori *low* (Tabel 2.14)

Tabel 3.3 Tebal Perkerasan Eksisting Runway

<b>Lapisan</b>	<b>Tebal (cm)</b>	<b>Keterangan</b>
Aspal	10	AC : 5 cm; ATB : 5 cm.
Base Course	20	CBR 80 %
Subbase Course	30	CBR 25 %

*Sumber: Data UPBU Dr. F L Tobing*

### 3.5 Metode Pengolahan Data

Data-data dalam penelitian ini ditelaah dan disusun sesuai dengan kebutuhan. Kemudian disesuaikan dengan teori-teori yang terdapat dalam kerangka teori, selanjutnya hasil penelitian dianalisa dan dideskripsikan secara sistematis sesuai tujuan penelitian. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode FAA (*Federal Aviation Administration*).

#### 3.5.1 Perencanaan Perkerasan Lentur Metode FAA

Faktor-faktor yang mendukung dalam menghitung tebal perkerasan metode FAA sebagai berikut:

1. Harus ditentukan pesawat rencana untuk perhitungan tebal perkerasan;
2. Karena tipe roda pendaratan pesawat berbeda-beda, maka harus dikonversi kedalam pesawat rencana melalui *equivalent annual departure* pesawat campuran; (Tabel 2.8)
3. Berat total/berat lepas landas pesawat yang beroperasi; (Tabel 3.2)
4. Nilai ACN pesawat rencana/kritis;
5. Nilai CBR tanah dasar;
6. Kategori area perkerasan meliputi area kritis dan non kritis; (Tabel 2.10)
7. Perhitungan tebal tiap lapisan perkerasan menggunakan grafik yang telah disiapkan oleh FAA. (Gambar 2.9 s/d Gambar 2.22)

Setelah data yang dibutuhkan diperoleh, adapun tahapan-tahapan yang dilakukan untuk perencanaan perkerasan lentur dengan metode FAA, sebagai berikut:

##### a. Menentukan Pesawat Rencana

Untuk menentukan pesawat rencana atau pesawat kritis, yaitu dimana pesawat yang mempunyai jumlah lintasan tahunan yang paling banyak dan paling berat.

##### b. Menentukan *Gear Departure* setiap Jenis Pesawat ( $R_2$ )

*Gear departure* setiap jenis pesawat dapat ditentukan dengan mengkonversi setiap jenis/tipe roda pesawat. Faktor konversi berbagai konfigurasi *landing gear* pesawat dapat dilihat pada Tabel 2.8.

**c. Menghitung Beban Roda setiap Jenis Pesawat ( $W_2$ )**

Beban roda pesawat setiap jenis pesawat yang direncanakan pada bandara ini dapat ditentukan dengan persamaan ( 2.1 ) sebagai berikut:

$$W_2 = P \times \text{MTOW} \times 1/n$$

Dimana:

$W_2$  = Beban roda pendaratan dari masing-masing jenis pesawat (lbs)

MTOW = Berat kotor pesawat saat lepas landas

n = Jumlah roda pendaratan pesawat

p = persentase beban roda yang diterima roda pendaratan utama: 0.95

**d. Menghitung Equivalent Annual Departure**

Pada Tabel 2.9 disajikan tabel tabulasi perhitungan *equivalent annual departure*. Untuk mendapatkan Equivalent Annual Departure pesawat kritis, dihitung menggunakan persamaan ( 2.2 ).

$$\text{Log}_{10} R_1 = \text{Log}_{10} R_2 \cdot \left( \frac{W_2}{W_1} \right)^{1/2}$$

Dimana:

$R_1$  = Annual departure pesawat kritis/ pesawat desain

$R_2$  = Annual departure yang dinyatakan dalam landing gear pesawat

$W_1$  = Beban roda pesawat kritis/ desain

$W_2$  = Beban roda pesawat yang dikonversi

**e. Menentukan Nilai CBR Subgrade**

Untuk menentukan nilai CBR evaluasi jika terdapat penggantian tanah dasar dengan material lain untuk perkerasan lentur dapat menggunakan kurva pada Gambar 2.6; Gambar 2.7 dan Gambar 2.8.

**f. Menghitung Daya Dukung Perkerasan**

Daya dukung perkerasan dihitung dengan persamaan ( 2.3 ).

$$P = P_{\min} + (P_{\max} - P_{\min}) \left( \frac{PCN - ACN_{\min}}{ACN_{\max} - ACN_{\min}} \right)$$

Dimana:

- P = Beban yang diijinkan bekerja
- P<sub>min</sub> = Beban minimum pesawat kritis
- P<sub>maks</sub> = Beban maksimum pesawat kritis
- ACN min = ACN min yang didapat untuk pesawat kritis
- ACN maks = ACN maks yang didapat untuk pesawat kritis
- PCN = Nilai yang diperoleh dari perhitungan PCN

**g. Menghitung Tebal Perkerasan**

Untuk menentukan tebal tiap lapisan perkerasan, digunakan kurva korelasi antara kekuatan subgrade, daya dukung perkerasan, tebal perkerasan dan annual departure ditampilkan pada Gambar 2.9 s/d Gambar 2.22.

1. Tebal Lapisan Aus (*Surface*)

Kebutuhan tebal lapisan campuran aspal minimal ditampilkan dalam Tabel 2.10.

2. Tebal Lapisan *Base Course*

Untuk menghitung tebal lapisan base course minimum digunakan kurva korelasi antara tebal perkerasan (*total pavement thickness*) dan CBR *subgrade*. Kurva korelasi tebal lapisan *base course* minimum ditampilkan pada Gambar 2.23 dan Kebutuhan Tebal Minimum Lapisan *Base Course* ditampilkan pada Tabel 2.11.

3. Tebal Lapisan Subbase Course

Untuk mendapatkan tebal lapisan *subbase* dilakukan pengurangan antara (tebal lapisan total – tebal lapisan *surface* – lapisan *base course*) yang telah diperoleh sebelumnya.



### **3.5.2 Analisis Tebal Perkerasan dengan Kombinasi Timbunan Pilihan**

Pada penelitian ini, nilai CBR tanah dasar (*subgrade*) yang digunakan yaitu 6 % termasuk kedalam kategori daya dukung rendah, dapat dilihat pada Tabel 2.14. Oleh karena itu pada area yang memiliki daya dukung rendah atau pada tanah kohesif dengan konsistensi *soft* atau *very soft* atau pada *loose sand*, pilihan yang relative ekonomis untuk meningkatkan daya dukung tanah adalah dengan mengganti tanah lunak dengan material yang lebih baik (timbunan pilihan). Pada penelitian ini, peneliti akan menganalisis tebal perkerasan dimana dengan meningkatkan nilai CBR lapisan timbunan pilihan (pondasi bawah) yang ditentukan. Berikut beberapa nilai CBR pada penelitian ini untuk dilakukannya analisis perbandingan tebal tiap lapisan perkerasan.

1. Timbunan Pilihan dengan nilai CBR 10 %;  
Material yang digunakan adalah tanah timbun pilihan
2. Timbunan Pilihan dengan nilai CBR 12 %;  
Material yang digunakan adalah sirtu
3. Timbunan Pilihan dengan nilai CBR 15 %;  
Material yang digunakan adalah sirtu
4. Timbunan Pilihan dengan nilai CBR 20 %;  
Material yang digunakan adalah sirtu

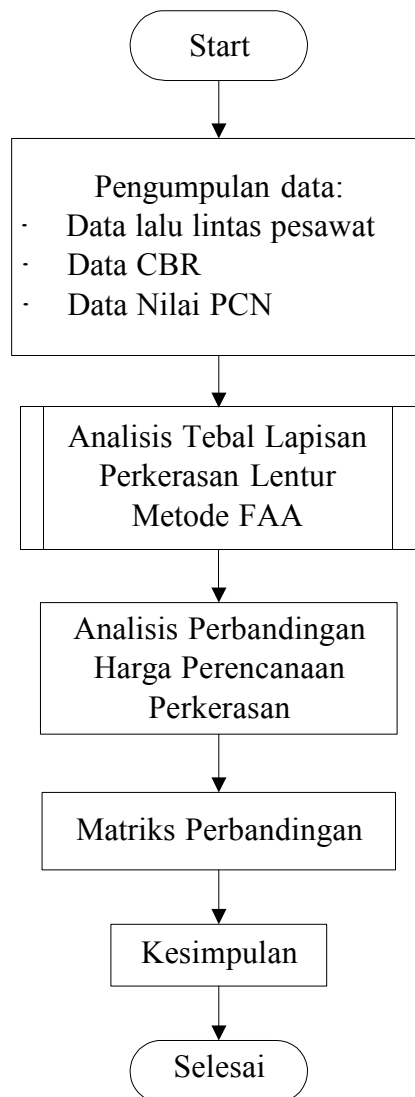
### **3.5.3 Analisis Perbandingan Harga Perencanaan Perkerasan**

Setelah didapat tebal setiap perkerasan dari masing-masing nilai CBR timbunan pilhan, selanjutnya dilakukan analisis perbandingan harga material perkerasan dengan variasi nilai CBR yang telah ditentukan, dimana dengan dilakukannya perhitungan RAB dari setiap tebal lapisan yang telah diperoleh. Harga material diambil dari harga satuan Kota Medan Sumatera Utara.

## **3.6 Pembahasan Hasil Analisa**

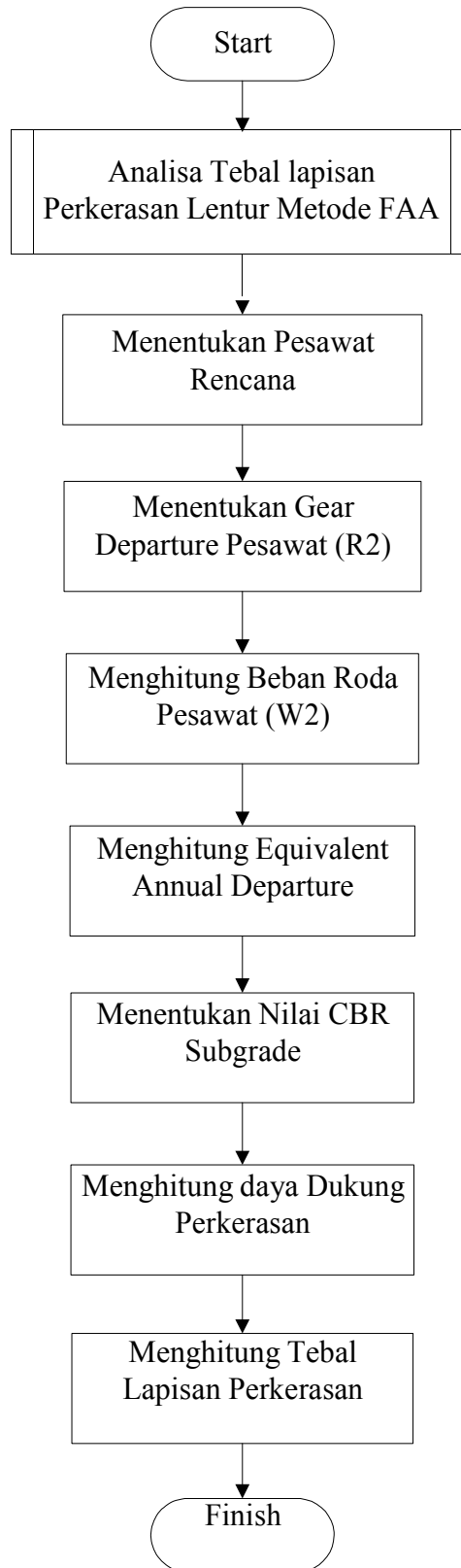
Pembahasan hasil analisa sebagai tahapan akhir dari pengolahan data, yakni pengambilan kesimpulan berdasarkan data-data yang telah diperoleh dan dianalisa, untuk memberikan pemahaman kepada pembaca sebagaimana yang telah dijelaskan dalam latar belakang masalah. Kemudian kesimpulan dibuat berdasarkan rumusan masalah yang telah ditentukan.

### 3.7 Flowchart Umum



Gambar 3.6 Flowchart Umum

### 3.8 Flowchart Metode Penelitian



Gambar 3.7 Flowchart Metode Penelitian