

**PERBANDINGAN METODE PERENCANAAN  
PERKERASAN KAKU PADA APRON DENGAN METODE  
FAA, PCA DAN LCN DARI SEGI DAYA DUKUNG: STUDI  
KASUS BANDARA JUANDA**

Nama Mahasiswa : Redy Triwibowo  
NRP : 3110100049  
Jurusan : Teknik Sipil FTSP-ITS  
Dosen Pembimbing : 1. Ir. Ervina Ahyudanari, ME., Ph.D.  
2. Endah Wahyuni, ST., M.Sc., Ph.D.

**ABSTRAK**

*Perkerasan apron bisa direncanakan dengan metode FAA (Federal Aviation Administration), PCA (Portland Cement Association), dan LCN (Load Classification Number). Untuk PCA ada dua pendekatan yaitu perencanaan dengan dasar Faktor Keamanan dan Konsep Kelelahan. Ketiga metode perencanaan ini, FAA, PCA, dan LCN menggunakan variabel yang berbeda, sehingga perlu dianalisa besarnya perbedaan hasil perencanaan. Hasil desain dengan ketiga metode tersebut juga dievaluasi untuk menampung pergerakan pesawat dengan jangka waktu peramalan 12 tahun.*

*Dengan data pergerakan pesawat, spesifikasi apron bandara Juanda kondisi eksisting, dan spesifikasi pesawat yang didapat, dilakukan penghitungan ketebalan apron dengan ketiga metode, lalu dievaluasi dan dibandingkan. Setelah itu dengan data pergerakan pesawat selama 5 tahun terakhir, dilakukan peramalan hingga tahun 2026 dengan metode Arima untuk mengetahui perkerasan masih mampu melayani beban lalu lintas pesawat hingga tahun tersebut atau tidak.*

*Dari hasil perhitungan didapatkan, tebal struktur perkerasan kaku sebesar 44 cm untuk metode FAA, 33,5 cm untuk metode PCA dan 32,5 untuk metode LCN.*

*Berdasarkan hasil desain tebal perkerasan kaku melalui metode FAA, PCA, dan LCN tersebut, tebal perkerasan kaku eksisting sebesar 45 cm masih mampu menerima beban lalu lintas pesawat hingga tahun 2026.*

**Kata kunci :** *Apron, Perkerasan Kaku, FAA, PCA, LCN.*

# **COMPARISON OF RIGID PAVEMENT PLANNING METHODS ON APRON WITH FAA, PCA AND LCN BY THE CAPACITY: CASE STUDY JUANDA AIRPORT**

Student Name : Redy Triwibowo  
NRP : 3110100049  
Department : Civil Engineering FTSP-ITS  
Lecturer Supervisors : 1. Ir. Ervina Ahyudanari, ME., Ph.D.  
2. Endah Wahyuni, ST., M.Sc., Ph.D.

## **ABSTRACT**

*The apron pavement can be designed using method of FAA (Federal Aviation Administration), PCA (Portland Cement Association), and LCN (Load Classification Number). PCA has two basic approaches for planning; those are Safety Factor and Fatigue Repetition. All of the planning methods, the FAA, PCA, and LCN, are using different variables. Therefore, the methods need to be analyzed on those magnitudes and design outcomes from which method that can accommodate aircraft movements for the next 12 years.*

*The thickness of the apron is determined using data of aircraft movements, specification of the existing apron and aircraft characteristic. Based on 5 years data of aircraft movement, the prediction of aircraft movement in year 2026 is determined using ARIMA method. The forecast result is utilized to define the ability of the structure to serve the load.*

*The results shows that the thickness of apron obtained is are 44 cm, 33,5 cm, and 32,5 cm for FAA, PCA and LCN methods respectively. The existing thickness of apron is 45 cm, which is close to the result obtained from the calculation in this study.*

*The significance different of the thickness obtained is influenced by the approach method of each methods in this study. The existing thickness of apron is able to serve the traffic loads in year 2026*

**Key word :** *Apron, Rigid Pavement, Juanda Airport, Forecasting, Arima, FAA, PCA, LCN.*



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

Pada bab ini disajikan teori-teori pendukung yang akan digunakan dalam analisa. Teori pendukung yang dimaksud melingkupi pemahaman tentang fungsi apron, metode peramalan pergerakan pesawat, dan metode perencanaan perkerasan apron.

#### **2.1 Apron Bandara**

Berdasarkan PERATURAN DIREKTUR JENDRAL PERHUBUNGAN UDARA Nomor : SKEP/91/V/2007 ayat 3, disebutkan bahwa apron adalah salah satu bagian dari sistem bandara yang harus dievaluasi. Adapun fungsi dari apron itu sendiri (Annex 14 dari ICAO) adalah sebagai tempat parkir pesawat dengan beberapa aktifitas yang dilakukan, yaitu :

- Menurunkan atau menaikkan penumpang ke pesawat. Setelah penumpang turun dari pesawat, mereka bergerak memasuki gedung terminal.
- Menurunkan atau menaikkan barang ke pesawat. Barang di sini adalah bagasi penumpang, paket/kargo, dan pos
- Mengisi bahan bakar dan pembersihan bagian dalam pesawat.
- Melakukan pengecekan mesin dan perbaikan kecil bila diperlukan sebelum dan sesudah penerbangan.

Ukuran dan letak gate pada apron harus direncanakan dengan memperhatikan karakter pesawat yang menggunakan gate tersebut, seperti lebar sayap, panjang, dan radius belok pesawat, dan juga areal yang diperlukan oleh kendaraan-kendaraan yang menyediakan servis untuk pesawat selama berada di gate. Untuk menjamin keselamatan pesawat di daratan, ICAO dan FAA juga menetapkan persyaratan jarak minimum antara pesawat terbang yang sedang parkir di apron satu sama lainnya, dengan bangunan, atau obyek-obyek tetap lainnya yang ada di apron berdasarkan jarak sayap pesawat/wing tip clearance.

## 2.2 Metode Forecasting (Peramalan)

Untuk melakukan desain perkerasan apron diperlukan data mengenai pergerakan pesawat dan lay out Master Plan Bandar Udara Internasional Juanda untuk mengetahui luas apron yang telah ada. Dari data-data yang ada dilakukan *forecasting* jumlah pesawat untuk jangka waktu 10 tahun ke depan. Dari hasil yang didapatkan, lalu dapat direncanakan tebal perkerasan apron yang dibutuhkan.

Terdapat empat metode forecasting yang dapat digunakan dalam perencanaan apron (Horonjeff/McKelvey, 2010), yaitu :

a. Time series method

Metode ini berdasarkan pola aktifitas di masa lalu dan dilakukan pengasumsian faktor-faktor yang menentukan variasi dari aktifitas yang akan datang.

b. Market share method

Metode ini menggunakan skala kegiatan penerbangan yang luas dan dijadikan sebagai dasar penghitungan untuk kegiatan lokal.

c. Econometric modeling

Metode ini tidak hanya memperhitungkan data teknis, namun juga perlu memperhitungkan aspek ekonomi, sosial, pasar, dan operasional.

d. Simulation modeling

Metode ini adalah metode paling sulit karena diperlukan alat bantu atau software untuk melakukan proses modeling.

Dari keempat metode forecasting di atas, dipilih *Time Series Method* sebagai metode forecasting untuk desain perencanaan apron. Langkah pertama untuk melakukan *forecasting* adalah mengumpulkan data di masa lalu.

Pada umumnya data yang digunakan adalah data 5-10 tahun yang lalu. Kemudian dilakukan plotting grafik dan diamati kecenderungan bentuk grafiknya, misalnya parabola, garis lurus, atau tidak beraturan. Dari grafik data yang telah terbentuk, dapat diketahui hubungan antara data dan waktu yang merupakan suatu

persamaan. Setelah persamaan telah didapat, maka persamaan tersebut dapat digunakan sebagai dasar forecasting dengan cara interpolasi.

### 2.3 Tipe Perkerasan kaku

Dalam perencanaan perkerasan kaku pada apron, digunakan perkerasan kaku dengan tulangan. Keuntungan penulangan pada perkerasan kaku adalah walaupun penulangan tidak mencegah retak, tetapi menjamin retakan yang terjadi tetap terikat, sehingga permukaan dengan retakan yang berbentuk macam-macam masih tetap dalam kesatuan slab beton, dan slab beton tetap dalam integritas strukturalnya. Dengan mengikat retakan tetap dalam satu kesatuan slab, penulangan mengurangi kemungkinan retakan dimasuki kotoran dan air.

Pada kondisi riil dilapangan, tiap slab beton memiliki tipe plat yang berbeda-beda, sehingga konfigurasi penulangannya pun berbeda. Hal ini disebabkan oleh perbedaan karakteristik beban yang melewati perkerasan tersebut. Demikian pula pada sambungan. Terdapat berbagai macam tipe sambungan pada tiap slab sesuai dengan letak dan fungsinya. Untuk detailnya dapat dilihat pada lampiran.

Perkerasan kaku digolongkan menjadi beberapa kelompok sesuai dengan ukuran minimum slab beton. Slab beton dengan jarak sambungan (*jointspacing*) 20 ft menunjukkan kemampuan menahan beban paling optimum (FAA, 2000). Tabel 2.1 menunjukkan penggolongan perkerasan kaku berdasarkan ukuran minimum slab beton.

Tabel 2.1. Pengelompokan Perkerasan Kaku Berdasarkan Panjang Minimum Slab Beton

Grup	Ukuran Slab Beton (ft)
S1	10 x 10 ft (100), 10 x 12,5 ft (125), 10 x 15 ft (150), 10 x 17,5 ft (175), 10 x 20 ft (200)
S2	12,5 x 12,5 ft (156), 12,5 x 15 ft (188), 12,5 x 20 ft (250), 12,5 x 25 ft (375), 15 x 15 ft (225), 15 x 18,75 ft (281), 18,75 x 20 ft (375), 18,75 x 25 ft (469)
S3	20 x 20 ft (400), 20 x 25 ft (500)
S4	25 x 25 ft (625), 25 x 30 ft (750), 25 x 40 ft (1000), 25 x 50 ft (1250)

Sumber : FAA, (2010)

#### 2.4 Metode Perencanaan Perkerasan Apron

Perkerasan yang digunakan pada apron selalu berupa perkerasan kaku (*rigid pavement*). Jenis perkerasan ini umumnya digunakan sebagai perkerasan untuk daerah parkir pesawat atau daerah-daerah yang mendapat pengaruh panas jet blast dan limbah minyak.

Perkerasan kaku adalah suatu perkerasan yang mempunyai sifat dimana saat pembebanan berlangsung perkerasan tidak mengalami perubahan bentuk (deformasi), artinya perkerasan tetap seperti kondisi semula sebelum pembebanan berlangsung. Perkerasan kaku ini biasanya terdiri dari dua lapisan, yaitu :

- a. Lapisan permukaan (*surface course*) yang dibuat dari pelat beton.
- b. Lapisan pondasi (*base course*)

Untuk menentukan ketebalan dari perkerasan kaku ini terdapat tiga metode yang digunakan, yaitu :



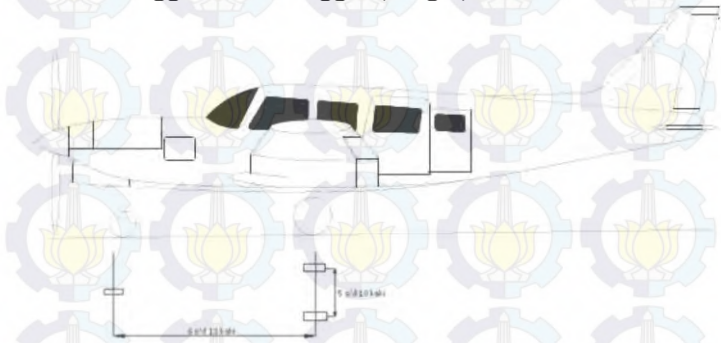
### 2.3.1 FAA (Federal Aviation Administration)

Metode perencanaan FAA yang digunakan adalah metode perencanaan yang mengacu pada standar perencanaan perkerasan FAA Advisory Circular No. AC 150/5320-6C, *Airport Pavement Design and Evaluation*. Dalam perencanaan tebal perkerasan terdapat beberapa hal yang harus diperhatikan, yaitu :

#### 1. Menentukan Tipe Roda Pendaratan Utama

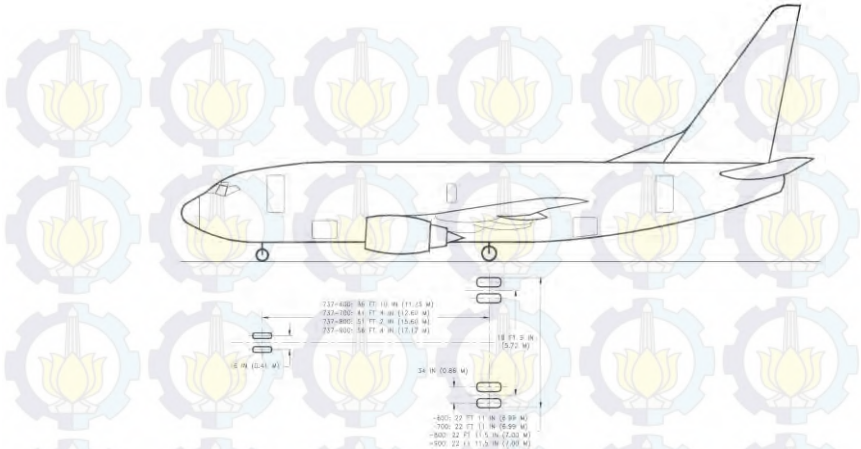
Roda pendaratan utama digunakan dalam analisis sebagai media pendistribusian beban total pesawat kepada perkerasan di bawah roda. Tipe roda menentukan luasan kontak pendistribusian beban.

##### a. Sumbu Tungga Roda Tunggal (Single)



Gambar 2.1 : Konfigurasi Roda Pendaratan Untuk Pesawat Roda Tunggal (Sumber : Yang, 1984)

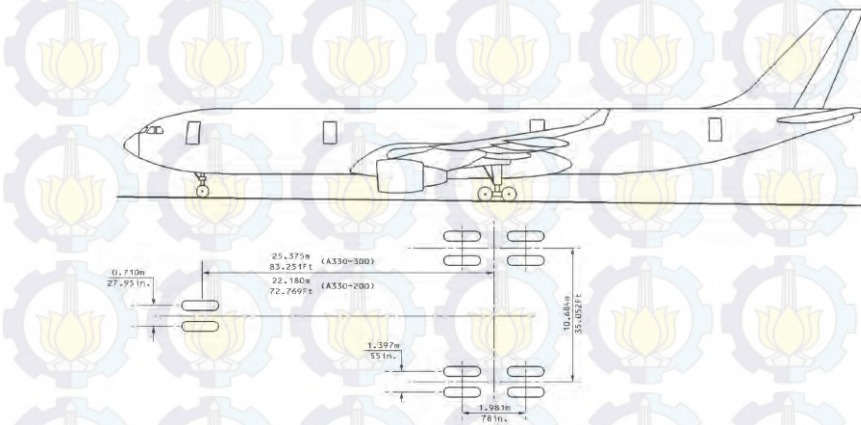
b. Sumbu Tunggal Roda Ganda (Dual wheel)



Gambar 2.2 : Konfigurasi Roda Pendaratan Untuk Pesawat Roda Ganda

(Sumber : *Airplane Characteristic*, 2001)

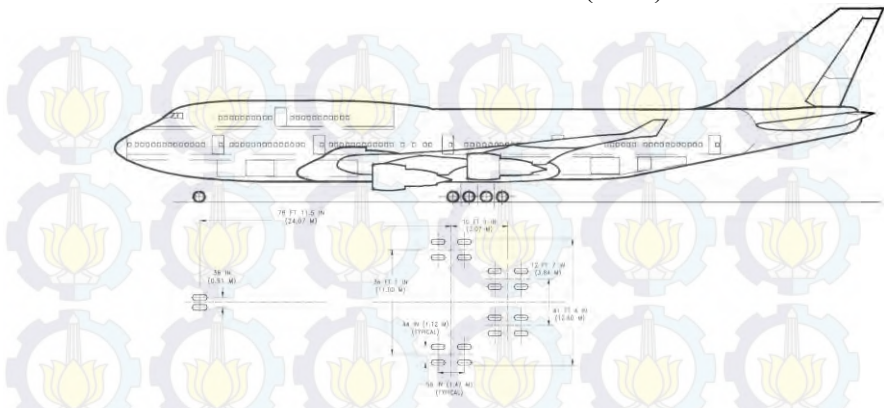
c. Sumbu Tandem Roda Ganda (Dual Tandem)



Gambar 2.3 : Konfigurasi Roda Pendaratan Untuk Pesawat Roda Tandem Ganda

(Sumber : *Airplane Characteristic*, 2002)

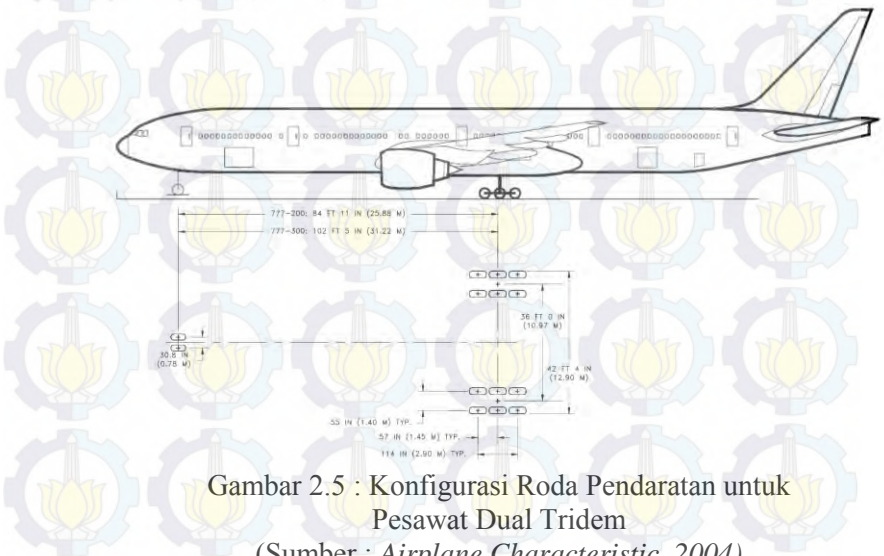
d. Sumbu Tandem Roda Ganda Doppel (DDT)



Gambar 2.4 : Konfigurasi roda pendaratan untuk pesawat roda ganda doppel

(Sumber : *Airplane Characteristic*, 2001)

e. Sumbu Dual Tridem



Gambar 2.5 : Konfigurasi Roda Pendaratan untuk Pesawat Dual Tridem

(Sumber : *Airplane Characteristic*, 2004)

## 2. Menentukan Pesawat Rencana

Pesawat rencana dapat ditentukan dengan melihat jenis pesawat yang beroperasi dan besar MTOW (*Maximum Take Off Weight*) dan data jumlah keberangkatan tiap jenis pesawat yang berangkat tersebut. Lalu dipilih jenis pesawat yang menghasilkan tebal perkerasan yang paling besar. Pemilihan pesawat rencana ini pada dasarnya bukanlah berasumsi harus berbobot paling besar, tetapi jumlah pesawat yang paling banyak parkir di apron yang direncanakan.

Pesawat rencana kemudian ditetapkan sebagai pesawat yang membutuhkan tebal perkerasan yang paling besar dan tidak perlu pesawat yang paling besar yang beroperasi di dalam bandara. Karena pesawat yang beroperasi di bandara memiliki angka keberangkatan tahunan yang berbeda-beda, maka harus ditentukan keberangkatan tahunan ekuivalen dari setiap pesawat dengan konfigurasi roda pendaratan dari pesawat rencana.

## 3. Menentukan Beban Roda Pendaratan Utama Pesawat (W<sub>2</sub>)

Untuk pesawat yang berbadan lebar yang dianggap mempunyai MTOW cukup tinggi dengan roda pendaratan utama tunggal dalam perhitungan *Equivalent Annual Departure* (R<sub>1</sub>) ditentukan beban roda tiap pesawat, 95% berat total dari pesawat ditopang oleh roda pendaratan utama, dalam perhitungannya dengan menggunakan rumus :

$$W_2 = P \times MTOW \times \frac{1}{A} \times \frac{1}{B} \quad (\text{persamaan 2.1})$$

Dimana :

W<sub>2</sub> = Beban roda pendaratan dari masing-masing jenis pesawat

MTOW = Berat kotor pesawat saat lepas landas

A = Jumlah konfigurasi roda

B = Jumlah roda per satu konfigurasi

P = Presentase beban yang diterima roda pendaratan utama

Tipe roda pendaratan utama sangatlah menentukan dalam perhitungan tebal perkerasan. Hal ini dikarenakan penyaluran beban pesawat melalui roda-roda ke perkerasan.

#### 4. Menentukan Nilai Ekvivalen Keberangkatan Tahunan Pesawat Rencana

Pada lalu-lintas pesawat, struktur perkerasan harus mampu melayani berbagai macam jenis pesawat yang mempunyai tipe roda pendaratan yang berbeda-beda dan bervariasi beratnya. Pengaruh dari beban yang diakibatkan oleh semua jenis model lalu lintas itu harus dikonversikan ke dalam pesawat rencana dengan *equivalent annual departure* dari pesawat-pesawat campuran tadi, sehingga dapat disimpulkan bahwa perhitungan ini berguna untuk mengetahui total keberangkatan keseluruhan dari bermacam pesawat yang telah dikonversikan ke dalam pesawat rencana.

Langkah pertama prosedur adalah menentukan ramalan keberangkatan pesawat tahunan dari setiap tipe pesawat dan mengelompokkannya ke dalam pesawat menurut konfigurasi roda pendaratan. Berat landas maksimum dari setiap pesawat digunakan dan 95% dari berat pesawat ini dipikul oleh roda pendaratan utama, 5% berat pesawat adalah pada roda depan (*nose gear*). Pada Tabel 2.2 berikut ini adalah faktor konversi yang digunakan untuk mengkonversikan berbagai tipe roda pendaratan kepada pesawat rencana.

Tabel 2.2 Konversi Konfigurasi Roda Pesawat

Poros Roda Pendaratan Pesawat Sebenarnya	Poros Roda Pendaratan Pesawat Rencana	Faktor Pengali untuk Keberangkatan Ekvivalen
Single Wheel	Dual Wheel	0,8
Single Wheel	Dual Tandem	0,5
Dual Wheel	Dual Tandem	0,6
Double Dual Tandem	Dual Tandem	1,0
Dual Tandem	Single Wheel	2,0
Dual Tandem	Dual Wheel	1,7
Dual Wheel	Single Wheel	1,3
Double Dual Tandem	Dual Wheel	1,7

(Sumber : FAA, 2010)

Untuk menentukan  $R_1$  dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.2 :

$$\text{Log } R_1 = \text{Log } R_2 \left( \frac{W_2}{W_1} \right)^{1/2} \quad (\text{persamaan 2.2})$$

Dimana :

$R_1$  = Keberangkatan tahunan ekivalen oleh pesawat rencana (pesawat)

$R_2$  = Jumlah keberangkatan tahunan oleh pesawat berkenaan dengan konfigurasi roda pendaratan rencana

$W_1$  = Beban roda pesawat rencana (pound)

$W_2$  = Beban roda pesawat yang harus diubah

Karena pesawat lebar memiliki konfigurasi roda pendaratan utama yang berbeda dengan pesawat lainnya, maka pengaruhnya terhadap perkerasan diperhitungkan dengan menggunakan berat lepas landas kotor dengan susunan roda pendaratan utama adalah roda tunggal yang dikonversikan dengan nilai yang ada. Dengan anggapan demikian maka dapat dihitung keberangkatan tahunan ekivalen (*Equivalent Annual Departure, R<sub>1</sub>*).

## 5. Menentukan Tebal Perkerasan Total

Perencanaan perkerasan yang dikembangkan oleh FAA ini adalah perencanaan untuk masa umur rencana, dimana selama masa layan tersebut harus tetap dilakukan pemeliharaan secara berkala.

Grafik-grafik pada perencanaan perkerasan FAA menunjukkan ketebalan perkerasan total yang dibutuhkan. Nilai modulus reaksi tanah dasar digunakan bersama-sama dengan berat lepas landas kotor dan keberangkatan tahunan ekivalen dari pesawat rencana.

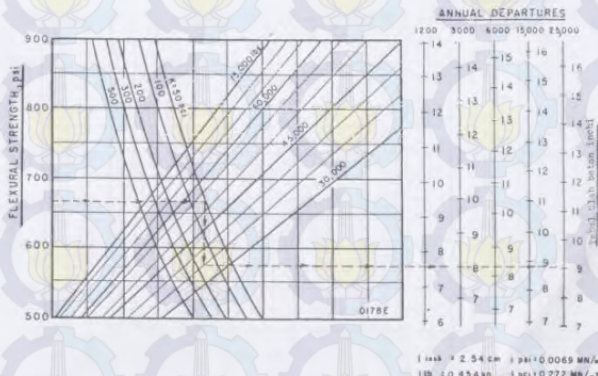
Grafik-grafik perencanaan digunakan dengan memulai menarik garis lurus dari sumbu *flexural stress* beton, ditentukan secara horisontal ke kurva K, lalu diteruskan dengan garis vertikal ke berat lepas landas (MTOW), kemudian diteruskan ke arah horizontal ke kurva keberangkatan tahunan ekivalen dan tebal total perkerasan didapat.

Beban lalu-lintas pesawat pada umumnya akan disebarakan pada daerah lateral dari permukaan perkerasan selama operasional. Demikian juga, pada sebagian landasan pacu, pesawat akan meneruskan beban ke perkerasan. Oleh karena itu, FAA memperbolehkan perubahan tebal perkerasan pada permukaan yang berbeda-beda :

- Tebal penuh T pada seluruh daerah kritis, yang digunakan untuk tempat pesawat yang akan berangkat, seperti apron daerah tunggu ( *Holding Apron*), bagian tengah landasan hubung dan landasan pacu (*Runway*).
- Tebal perkerasan 0.9 T diperlukan untuk jalur pesawat yang akan datang, seperti belokan landasan pacu berkecepatan tinggi.
- Tebal perkerasan 0.7 T diperlukan untuk tempat yang jarang dilalui pesawat, seperti tepi luar landasan hubung dan tepi luar landasan pacu.

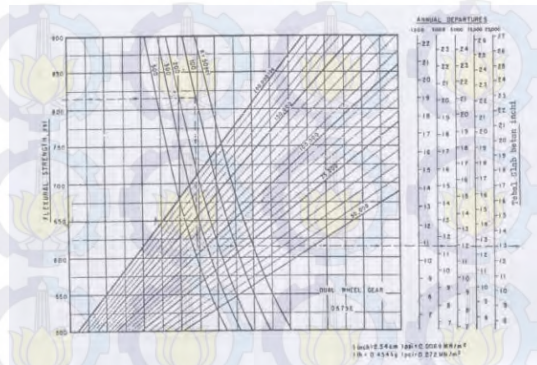
## 6. Kurva Perencanaan Tebal Perkerasan Metode FAA

- Kurva Perencanaan Tebal Perkerasan Total Untuk Pesawat Rencana Beroda Tunggal



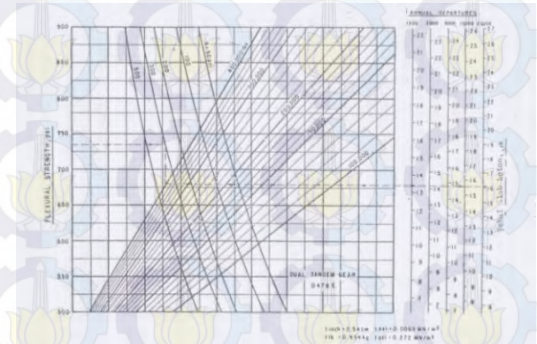
Gambar 2.6 : Kurva Perencanaan Tebal Perkerasan Untuk Pesawat Roda Tunggal (Sumber : FAA, 2010)

b. Kurva Perencanaan Tebal Perkerasan Total Untuk Pesawat Rencana Beroda Ganda



Gambar 2.7 : Kurva Perencanaan Tebal Perkerasan Untuk Pesawat Roda Ganda (Sumber : FAA, 2010)

c. Kurva Perencanaan Tebal Perkerasan Total Untuk Pesawat Rencana Beroda Dual Tandem



Gambar 2.8 : Kurva Perencanaa Tebal Perkerasan Untuk Pesawat Roda tandem ganda (Sumber : FAA, 2010)



Grafik perencanaan yang tersedia diatas adalah grafik perencanaan untuk tingkat keberangkatan tahunan maksimum 25.000 keberangkatan. Untuk keberangkatan tahunan diatas 25.000, grafik tersebut juga dapat digunakan dengan mengalikan hasil akhir tebal total perkerasan yang didapat dengan menggunakan grafik keberangkatan tahunan 25.000 dengan angka persentase yang diberikan pada tabel 2.3 dibawah ini :

Tabel 2.3 Persentase pengali untuk mendapatkan tebal total perkerasan dengan tingkat keberangkatan tahunan diatas 25.000

Tingkat Keberangkatan Tahunan	% Tebal Total Keberangkatan Tahunan 25.000
50.000	104
100.000	108
150.000	110
200.000	112

Sumber : Basuki, ( 1986 ).

### 2.3.2 PCA (Portland Cement Association)

Metode *PCA* didasarkan *Westergard interior load analysis* yakni, pembebanan ditengah pelat untuk menentukan tegangan yang terjadi pada perkerasan beton karena lalu lintas beban roda (Horonjeff R, 1975). Ada dua metode perencanaan yang dibuat oleh *PCA* untuk merencanakan perkerasan kaku. Metode pertama didasarkan pada faktor keamanan, sedangkan metode kedua didasarkan pada konsep kelelahan. Kedua metode itu juga untuk evaluasi kapasitas struktural ketebalan perkerasan kaku yang telah ditentukan. *Flexural stress* yang digunakan dalam metode perencanaan *PCA* adalah tegangan yang terjadi di dalam slab beton, dengan menganggap bahwa beban pesawat terjadi pada suatu jarak dari tepi bebas slab beton. Data yang diperlukan dalam proses desain struktur perkerasan kaku dengan metode *PCA* adalah sebagai berikut :

1. Data karakteristik pesawat udara.
2. Data pergerakan pesawat udara tahunan.
3. Data struktur perkerasan.
4. Ketentuan teknis desain.

Prosedur desain struktur perkerasan kaku menurut metode *PCA* menggunakan dua proses iterasi yang masing-masing dilakukan untuk memperoleh tebal perkerasan desain dan jalur desain kritis. Metode *PCA* memperhitungkan pengaruh beban lalu lintas dari setiap jenis pesawat udara yang beroperasi terhadap kerusakan struktur perkerasan. Kerusakan struktur perkerasan diasumsikan terjadi pada jalur lintasan roda pesawat udara tertentu akibat beban roda dari setiap pesawat udara yang lewat secara berulang-ulang.

### 1. Perencanaan dengan Dasar Faktor Keamanan

Faktor keamanan adalah perbandingan *modulus of rapture* beton umur 90 hari dengan *working stress* (tegangan kerja) :

$$FK = \frac{MR_{90}}{Working\ Stress} \quad \text{Persamaan 2.3}$$

Dimana :

FK = Faktor Keamanan  
 MR = *Modulus of Rapture* beton umur 90 hari  
 Working Stress = Tegangan Kerja

Dianjurkan untuk memakai angka keamanan sebagai berikut :

Tabel 2.4 Angka Keamanan

Daerah Perkerasan	Angka Keamanan
Kritis : apron, taxiway, ujung landasan sampai jarak 300 m, lantai hangar.	1,7-2,0
Non kritis : landasan bagian tengah, taxiway	1,4-1,7

Sumber : Packard, 1973

Di lapangan terbang yang harus melayani pesawat dengan beban kritis, angka keamanannya dipakai maksimum yaitu 2, lapangan terbang yang jarang melayani pesawat beban kritis dipakai angka keamanan menengah (Basuki, 1986).

## 2. Perencanaan dengan Konsep Kelelahan

Seperti bahan-bahan struktural lainnya, beton pun bisa mengalami kelelahan. Keruntuhan beton akibat kelelahan terjadi apabila beton mendapat beban repetisi yang melampaui ketahanannya.

Untuk menentukan kerusakan akibat beban repetisi pesawat ditentukan oleh *stress ratio* yaitu perbandingan antara stress (tegangan) yang terjadi dengan *modulus of rupture*. Test kelelahan pada beton menunjukkan bahwa bila *stress ratio*  $< 0,51$ , beton itu mampu menerima beban repetisi sampai pengulangan yang tak terhingga, akan tetapi bila *stress ratio* meningkat, beban repetisi yang diijinkan akan berkurang, lihat tabel 2.5.

$$\text{Stress Ratio} = \frac{\text{Flexural Stress}}{\text{Flexural Strength}} \quad \text{Persamaan 2.4}$$

Dimana:

Flexural Stress = Tegangan bengkok

Flexural Strength = Kuat bengkok

Tabel 2.5 *Stress ratio* dan beban repetisi yang diijinkan.

Stress Ratio	Beban Repetisi yang Diijinkan	Stress Ratio	Beban Repetisi yang Diijinkan
0,51	400.000	0,63	14.000
0,52	300.000	0,64	11.000
0,53	240.000	0,65	8.000
0,54	180.000	0,66	6.000
0,55	130.000	0,67	4.500
0,56	100.000	0,68	3.500
0,57	75.000	0,69	2.500
0,58	57.000	0,70	2.000
0,59	42.000	0,71	1.500
0,60	32.000	0,72	1.100
0,61	24.000	0,73	850
0,62	18.000	0,74	650

Sumber : Packard, 1973

Beban repetisi gear load pesawat yang diharapkan bisa dihitung dengan rumus :

$$\text{Fatigue Repetition} = D \times \text{LRF}$$

Dimana :

D = Jumlah kedatangan pesawat yang diharapkan selama umur rencana dari perkerasan itu.

LRF = *Load repetition factor*, berkaitan dengan jumlah pesawat yang melintas yang tegangan repetisinya akan menghasilkan tingkat kelelahan yang sama pada jumlah equivalent beban penuh.

Kapasitas struktural perkerasan apron yang melayani beban gear sebuah pesawat adalah perbandingan dari fatigue repetition beban gear pesawat dengan repetisi yang diijinkan (tabel 2.4). Untuk menghitung kapasitas struktural total, maka perbandingan fatigue repetition dengan repetisi yang diijinkan bagi semua pesawat yang diramalkan akan menggunakan apron selama masa umur rencana perkerasan itu harus dijumlahkan. Bila jumlahnya < 100%, maka perkerasan tidak akan runtuh.

$$\left[ \frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \frac{n_i}{N_i} \right] \times 100 < 100\% \text{ Persamaan 2.5}$$

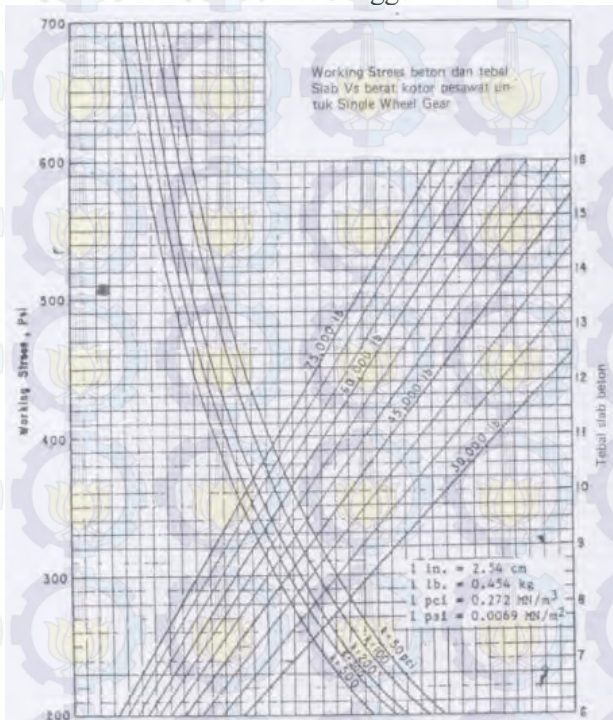
Dimana :

$n_1, n_2, n_i, \dots$  = Fatigue repetition

$N_1, N_2, N_i, \dots$  = Repetisi yang diijinkan.

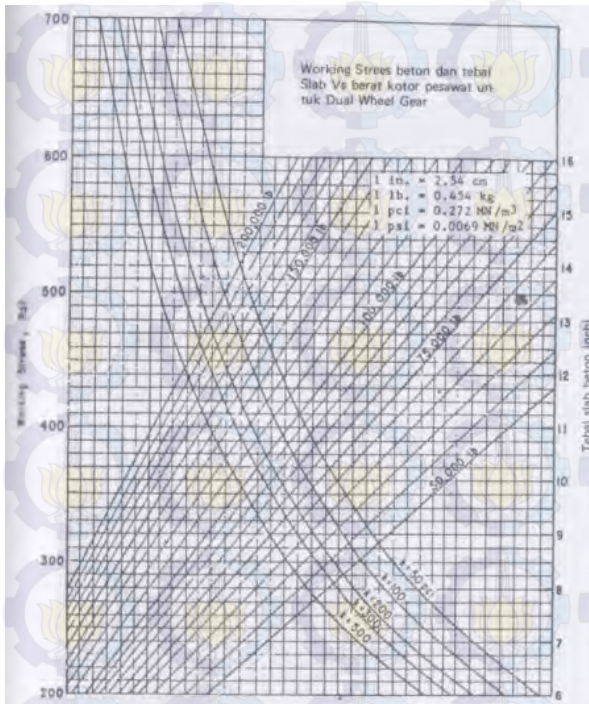
### 3. Kurva-kurva Perencanaan Tebal Perkerasan Metode PCA

- a. Kurva Perencanaan Tebal Perkerasan Total Untuk Pesawat Rencana Beroda Tunggal.



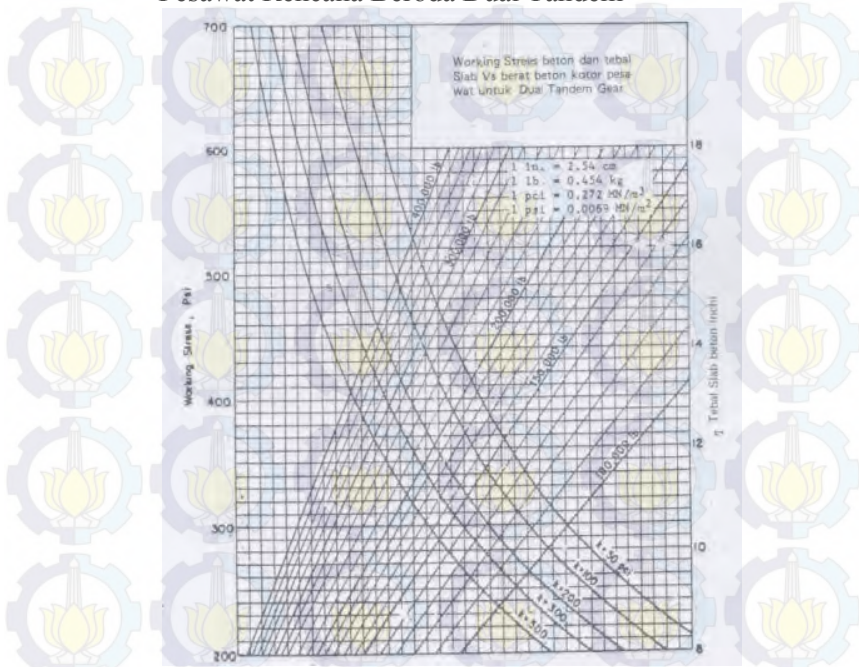
Gambar 2.9 : Kurva Perencanaan Tebal Perkerasan Untuk Pesawat Roda Tunggal (Sumber : Basuki, 1986)

b. Kurva Perencanaan Tebal Perkerasan Total Untuk Pesawat Rencana Beroda Ganda



Gambar 2.10 : Kurva Perencanaan Tebal Perkerasan Untuk Pesawat Roda Ganda (Sumber : Basuki, 1986)

c. Kurva Perencanaan Tebal Perkerasan Total Untuk Pesawat Rencana Beroda Dual Tandem



Gambar 2.11 : Kurva Perencanaan Tebal Perkerasan Untuk Pesawat Roda Tandem Ganda (Sumber : Basuki, 1986)

### 2.3.3 LCN (Load Classification Number)

Metode *Load Classification Number* (LCN) adalah metode perencanaan perkerasan dan evaluasi, merupakan formulasi dari *Air Ministry Directorate General of Work*, Inggris dan dewasa ini telah diakui oleh ICAO. Dalam prosedurnya kapasitas daya dukung perkerasan dinyatakan dalam angka LCN.

Seperti halnya ESWL, setiap pesawat dapat dinyatakan dalam LCN, dimana angka-angka LCN tergantung kepada geometri roda pendaratan, tekanan roda pesawat dan komposisi dari tebal perkerasan (Basuki, 1986).

Metode *Load Classification Number* (LCN) menggunakan sistem penggolongan perkerasan untuk menentukan kekuatan perkerasan suatu bandar udara berguna untuk menentukan kelayakan suatu perkerasan melayani pesawat dengan type tertentu sesuai dengan daya dukung perkerasan tersebut.

LCN (*Load Classification Number*) adalah nilai yang menunjukkan beban tertentu dari pesawat yang harus dipikul suatu sistem perkerasan bandara. LCN adalah angka yang menunjukkan kekuatan dukung tanah dasar bandar udara terhadap pesawat yang boleh beroperasi di bandara tersebut. Maka bila angka LCN perkerasan lapangan terbang lebih besar daripada LCN pesawat, maka dapat disimpulkan pesawat dapat mendarat di lapangan terbang tersebut dengan selamat.

Beragam-macam tipe perkerasan rigid dan flexible telah diuji memakai *test bearing plate* dengan rentang kontak area dari 200-700 in<sup>2</sup> yang mewakili pesawat-pesawat yang beroperasi di dunia saat ini. Hal tersebut menunjukkan bahwa pada rentang kontak area itu, perkerasan rigid dan flexible mempunyai karakteristik beban vs penurunan yang mirip.

### 1. *Equivalent Single Wheel Load* (ESWL)

ESWL adalah nilai yang menunjukkan beban roda tunggal yang akan menghasilkan respon dari struktur perkerasan pada satu titik tertentu di dalam struktur perkerasan, dimana besarnya sama dengan beban yang dipikul pada titik roda pendaratan. Dalam penentuan nilai ESWL biasanya prosedur perhitungannya berdasarkan tegangan vertikal, lendutan dan regangan. Untuk merencanakan roda pesawat tunggal terlebih dahulu harus menghitung *Equivalent Single Wheel Load* (ESWL) pesawat.

$$ESWL = \frac{\text{Beban total pada main gear}}{\text{Reduction Factor}} \quad (\text{Persamaan 2.3})$$



## 2. Menentukan Pesawat Rencana

Pesawat rencana dapat ditentukan dengan melihat jenis pesawat yang beroperasi dan besar MTOW ( *Maximum Take Off Weight* ), data jumlah keberangkatan tiap jenis pesawat yang berangkat tersebut. Lalu dipilih jenis pesawat yang menghasilkan tebal perkerasan yang paling besar.

Pemilihan pesawat rencana ini pada dasarnya bukanlah berasumsi harus berbobot paling besar, tetapi jumlah pesawat yang paling banyak parkir di apron yang direncanakan.

## 3. Garis Kontak Area Pesawat

Beban runtuh pada perkerasan diartikan sebagai beban yang menyebabkan perkerasan turun secara progresif tanpa penambahan beban, maka dengan diketahuinya *Equivalent Single Wheel Load* ( ESWL ) pesawat dan tekanan roda pesawat maka dapat ditentukan kontak area pesawat dengan menggunakan rumus :

$$K = \frac{W}{p}$$

Dimana :

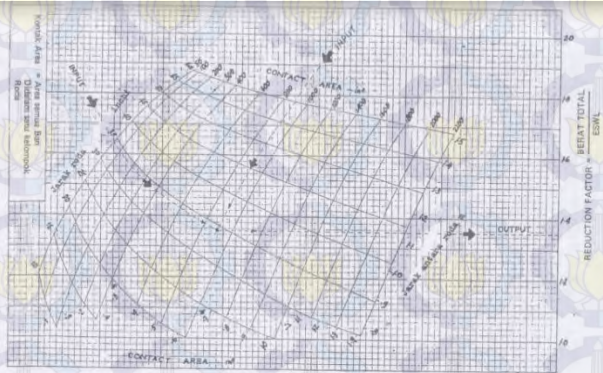
K = Kontak area pesawat (lbs/psi)

W = Beban pesawat yang dipikul roda (lbs)

p = Tekanan udara pada roda (psi)

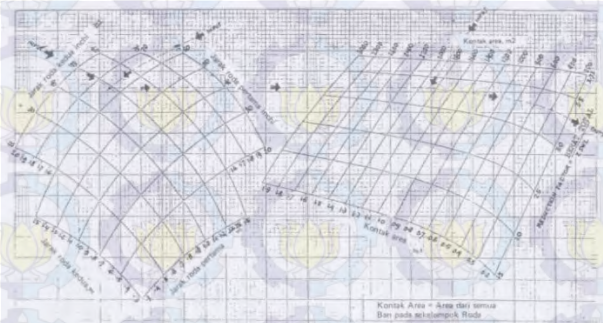
#### 4. Kurva-kurva Untuk Menaksir Equivalent Single Wheel Load Pesawat

- a. Kurva Untuk Menaksir Equivalent Single Wheel Load Pesawat Beroda Ganda



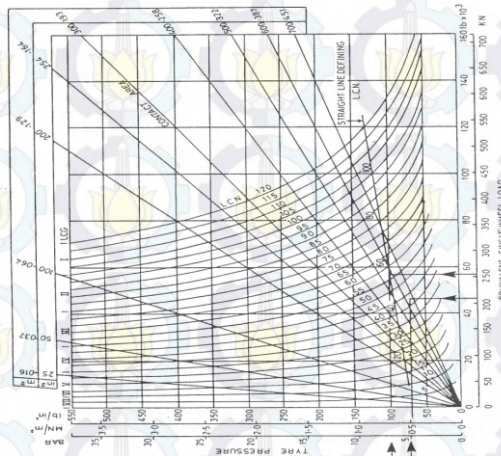
Gambar 2.12 : Kurva Untuk Menaksir Equivalent Single Wheel Load Pesawat Beroda Ganda  
(Sumber : Basuki, 1986)

- b. Kurva Untuk Menaksir Equivalent Single Wheel Load Pesawat Beroda Dual Tandem



Gambar 2.13 : Kurva Untuk Menaksir Equivalent Single Wheel Load Pesawat Beroda Dual Tandem  
(Sumber : Basuki, 1986)

c. Kurva Hubungan Antara Beban Tekanan Ban dan Kontak Area



Gambar 2.14 : Kurva Hubungan Antara Beban Tekanan Ban dan Kontak Area  
(Sumber : Basuki, 1986)

#### 4. Load Classification Group

Perkembangan terakhir, LCN pesawat dibagi dalam kelompok-kelompok grup. Hal ini disebabkan sejumlah variabel yang mempengaruhi ketelitian pada waktu merencanakan perkerasan tidak diperlukan. Maka klasifikasi perkerasan dan evaluasi pesawat disederhanakan menjadi LCG. Pengelompokan pesawat dalam grup-grup, dipilih di antara pesawat-pesawat yang secara garis besar menghasilkan tegangan yang sama pada perkerasan. Tabel 2.6 menunjukkan klasifikasi grup pesawat berdasarkan LCN.

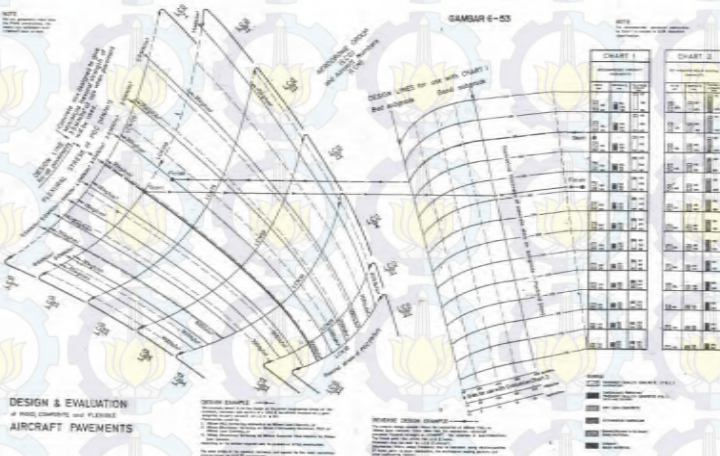
Tabel 2.6 Klasifikasi Grup Pesawat

Load Classification Group (LCG)	Load Classification Number (LCN)
I	101-120
II	76-100
III	51-75
IV	31-50
V	16-30
VI	11-15
VII	10 dan dibawahnya.

Sumber : Basuki, (1986)

### 5. Menentukan Tebal Perkerasan

Grafik pada gambar 2.15 digunakan untuk menentukan ketebalan perkerasan yang dibutuhkan. Dalam penentuan tebal perkerasan, digunakan batas teratas LCG terpilih, lalu memplotkannya ke dalam grafik.

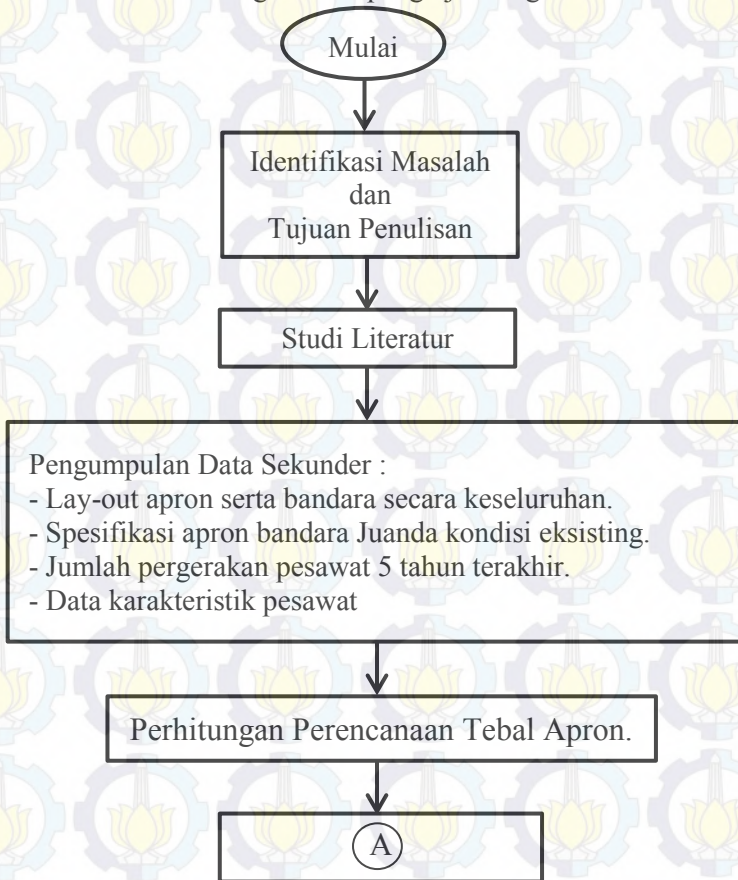


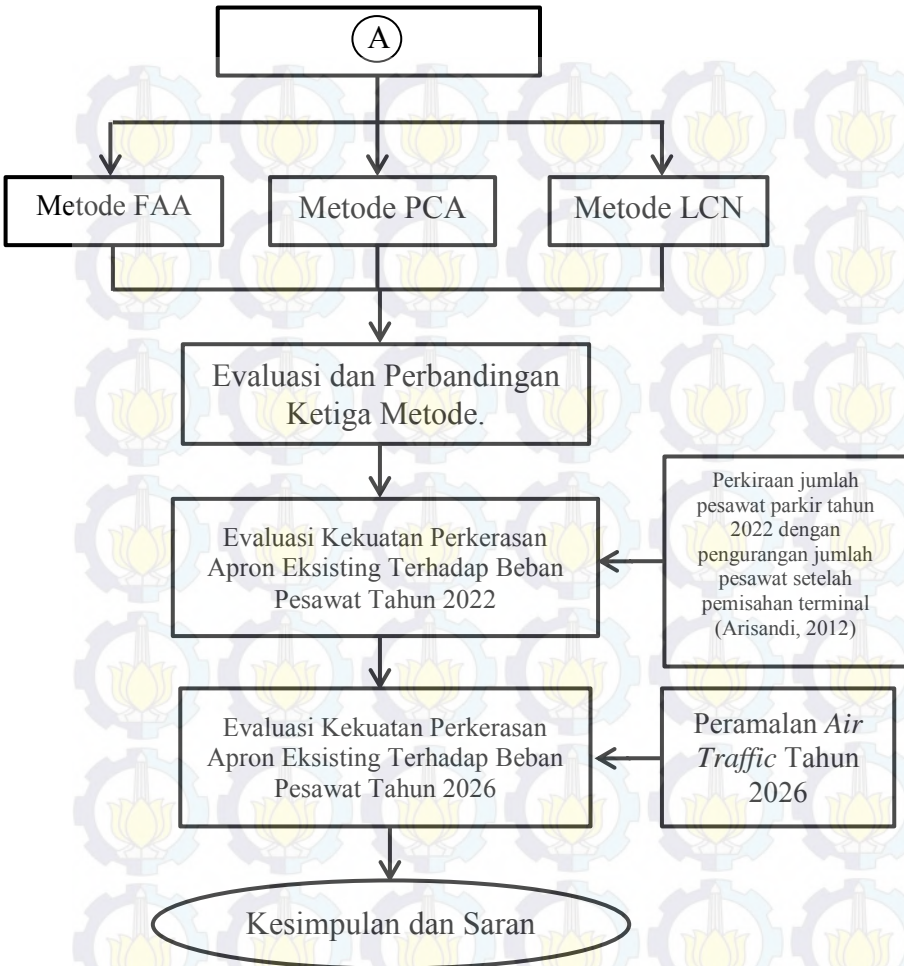
Gambar 2.15 : Kurva Penentuan Tebal Perkerasan  
(Sumber : Basuki, 1986)

## **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

### **3.1 Skema Pengerjaan Tugas Akhir**

Pada bab ini akan dibahas mengenai metode yang digunakan penulis dalam penyusunan tugas akhir ini berdasarkan studi literatur yang digunakan dan data-data yang telah didapat. Gambar 3.1 adalah diagram alir pengerjaan tugas akhir.





Gambar 3.1 : Skema Penulisan Tugas Akhir

### 3.2 Langkah-Langkah Pengerjaan Tugas Akhir

Dari skema pengerjaan tugas akhir pada Gambar 3.1, akan dijelaskan secara lebih rinci metodologi yang akan digunakan sebagai berikut :

### 3.2.1 Studi Literatur

Dalam penyusunan tugas akhir ini, diperlukan beberapa referensi untuk membantu dalam mencapai tujuan penulisan, diantaranya adalah :

- *Planning and Design of Airport* (Horonjeff/Mckelvey)
- Merancang, Merencana Lapangan Terbang (Heru Basuki)

### 3.2.2 Pengumpulan Data Sekunder

Data sekunder yang digunakan merupakan data yang didapatkan dari PT Angkasa Pura 1 dan Dinas Perhubungan Cabang Surabaya. Berikut ini adalah data-data yang diperlukan :

- Lay-out apron serta bandara secara keseluruhan.
- Spesifikasi apron bandara Juanda kondisi eksisting.
- Jumlah pergerakan pesawat udara tahunan dalam kurun waktu 5 tahun terakhir.
- Data karakteristik pesawat.
- Ketentuan teknis desain.

### 3.2.3 Analisa Data dan *Forecasting*

Dari data pergerakan pesawat selama 5 tahun yang telah didapat sebelumnya, dilakukan analisa dan *forecasting* dengan metode linier. Metode ini dilakukan dengan membuat grafik hubungan antara tahun dengan jumlah pergerakan pesawat per tahun. Pola dari kenaikan garis tersebut akan diterapkan pada pola pertumbuhan jumlah pergerakan pesawat yang dilayani untuk 12 tahun ke depan sehingga didapatkan perkiraan jumlah penumpang per tahun dalam kurun waktu 12 tahun ke depan. Tujuan diambil tahun rencana pada 12 tahun mendatang adalah untuk membandingkan hasil yang diperoleh dari penelitian terdahulu terdapat perbedaan yang signifikan atau tidak.

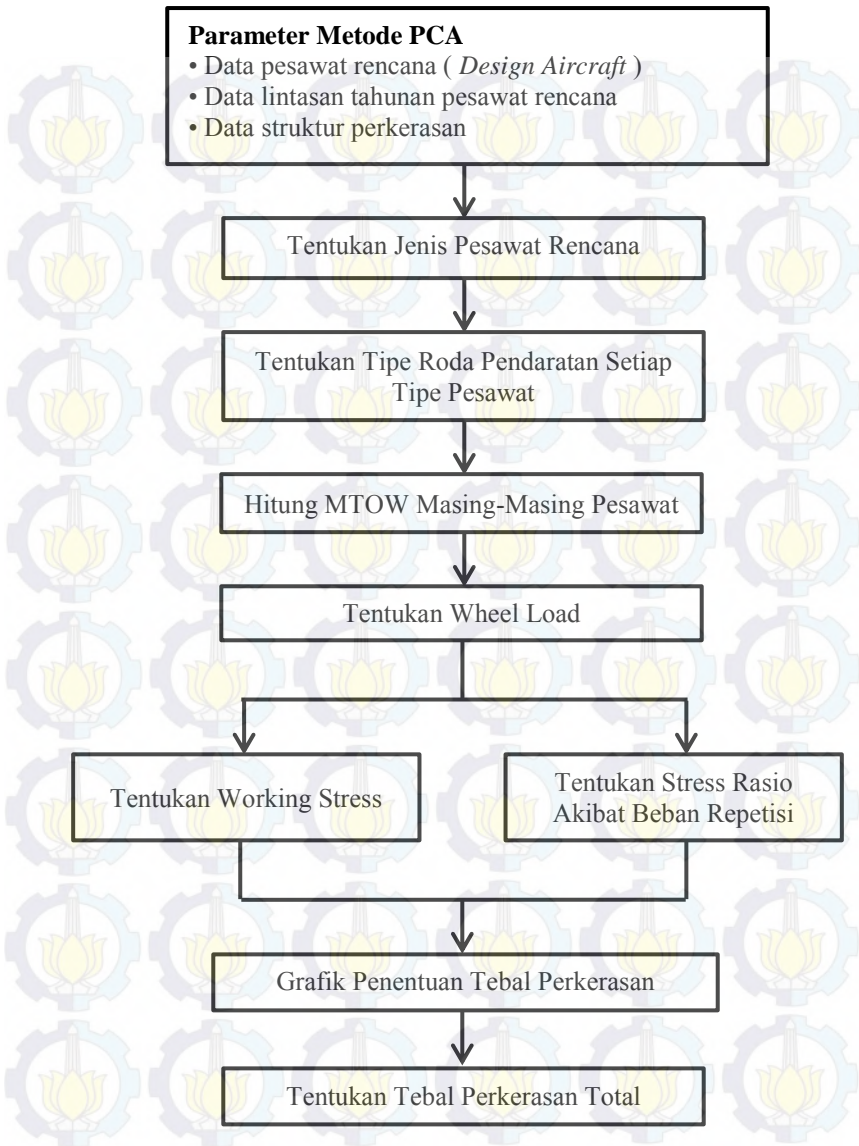
### 3.3 Perhitungan Perencanaan Perkerasan Apron

Perkerasan apron menggunakan *rigid pavement* dan dihitung dengan metode FAA, LCN dan PCA. Berikut adalah langkah pengerjaannya :

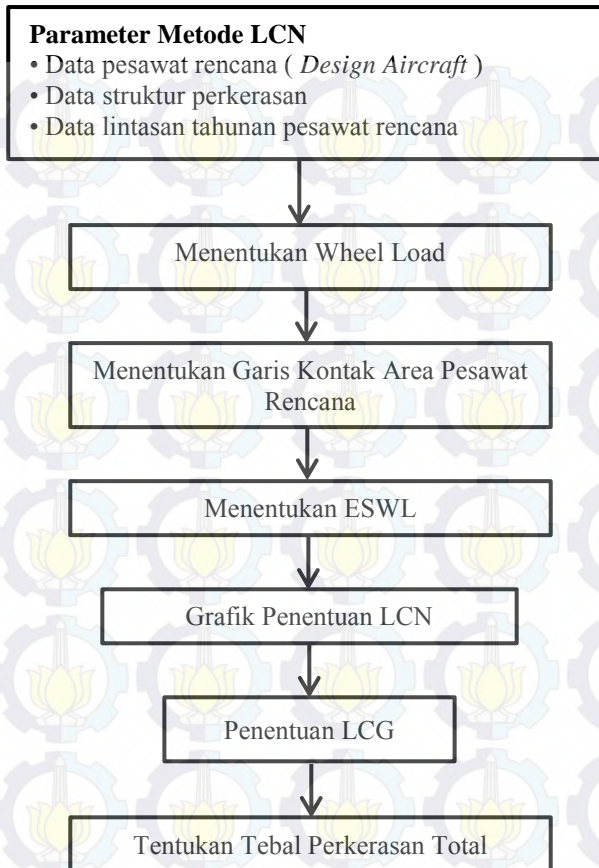


Gambar 3.2 : Skema Perencanaan dengan Metode FAA





Gambar 3.3 : Skema Perencanaan dengan Metode PCA



Gambar 3.4 : Skema Perencanaan dengan Metode LCN

### 3.4. Evaluasi Perbandingan Ketiga Metode

Evaluasi dilakukan dengan cara membandingkan hasil yang diperoleh dari penelitian terdahulu (Arisandi, 2012) dengan hasil Tugas Akhir ini apakah terdapat perbedaan yang signifikan atau tidak, kemudian dianalisa apa penyebab perbedaan tersebut. Hal ini perlu dilakukan untuk menunjukkan bahwa apabila terdapat perbedaan pada data maka hasil yang diperoleh berbeda

juga atau tidak sehingga ketika merencanakan perkerasan suatu bandara data-data teknis haruslah valid.

### 3.5. Peramalan

Untuk melakukan peramalan pergerakan pesawat di masa yang akan datang, dibutuhkan data jumlah pergerakan pesawat udara tahunan dalam kurun waktu 5 tahun terakhir. Setelah mendapat data pergerakan pesawat kemudian dilakukan peramalan. Pada tugas akhir ini terdapat dua metode peramalan, yaitu regresi linier dan Arima.

#### 1. Regresi linier

Regresi linier adalah metode statistika yang digunakan untuk membentuk model hubungan antara variabel terikat dengan variabel bebas. Pada perhitungan *forecasting* ini yang merupakan variabel terikat (*dependent variable*) adalah nilai Y yaitu besar nilai pergerakan pesawat, sedangkan variabel bebasnya (*independent variable*) adalah nilai X yaitu tahun yang dicari. Jadi, nilai Y dipengaruhi dan ditentukan oleh nilai X, namun tidak berlaku sebaliknya. Metode regresi linier ini hanya memiliki satu variabel bebas.

#### 2. Arima

Model ARIMA adalah model yang secara penuh mengabaikan independen variabel dalam pembuatan peramalan. ARIMA menggunakan nilai masa lalu dan sekarang dari variabel dependen untuk menghasilkan peramalan jangka pendek yang akurat. Namun untuk peramalan jangka panjang ketepatan peramalannya kurang baik. Tujuan ARIMA adalah untuk menentukan hubungan statistik yang baik antar variabel yang diramal dengan nilai historis variabel tersebut sehingga peramalan dapat dilakukan dengan model tersebut.

### 3.6. Perhitungan Ketebalan Apron yang Diperlukan pada Tahun Proyeksi

Perhitungan ketebalan apron yang diperlukan pada tahun proyeksi dilakukan dengan cara membandingkan kondisi ketebalan eksisting dengan ketebalan perkerasan yang didapat dengan menghitung ketebalan menggunakan ketiga metode. Semua data perkerasan dan ketentuan teknis desain disesuaikan dengan data yang didapat sebelumnya, tetapi untuk data kedatangan pesawat menggunakan data pergerakan hasil *forecasting* yang telah dilakukan. Langkah-langkah perhitungan sama seperti skema yang digambarkan pada subbab sebelumnya, oleh karena itu tidak dijelaskan lagi pada subbab ini.

## **BAB IV**

### **PENGUMPULAN DATA**

#### **4.1 Gambaran Umum Kondisi Eksisting Bandara Juanda**

Bandar Udara Internasional Juanda terminal 1 diresmikan oleh Presiden RI Susilo Bambang Yudhoyono dan mulai beroperasi pada tanggal 7 November 2006. Bandara Juanda beroperasi mulai pukul 06.00-24.00 WIB. Kapasitas sebenarnya dari Terminal 1 hanya 6 juta penumpang/tahun. Namun, setiap tahun jumlah penumpang di Bandara Juanda terus mengalami peningkatan hingga akhirnya terjadi *overload* penumpang. Akhirnya pemerintah memutuskan membangun terminal 2 yang berada di terminal lama bandara juanda. Terminal lama dibongkar dan dibangun terminal 2.

Pada tahun 2014 terminal 2 Bandara Juanda mulai beroperasi. Terminal 2 ini merupakan pemfungsian kembali Bandara Juanda lama yang terletak tidak jauh dari terminal 1. Seluruh maskapai penerbangan internasional dipindahkan ke terminal 2. Beberapa penerbangan domestik juga dipindahkan ke terminal 2 ini, diantaranya maskapai Air Asia dan Garuda Indonesia.

Sebelum dioperasikannya terminal 2, Bandara Juanda sebagai bandara internasional melayani berbagai maskapai domestik maupun internasional dengan berbagai tipe pesawat. Berdasarkan data sekunder yang diperoleh dari Angkasa Pura 1 selaku Badan Usaha Milik Negara yang mengelola Bandara Juanda, maskapai yang dilayani oleh Bandara Juanda dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1. Maskapai penerbangan yang dilayani oleh Bandara Juanda

Penerbangan Domestik			Penerbangan Internasional		
No	Nama Maskapai	Kode Maskapai	No	Nama Maskapai	Kode Maskapai
1	Garuda	GA	1	Garuda	GA
2	Citilink	GA	2	Mandala	RJ
3	Sriwijaya	SJ	3	Merpati	MNA
4	Mandala	RI	4	Air Asia	QZ
5	Merpati	MNA	5	Lion Air	JT
6	Air Asia	QZ	6	Value Air	VF
7	Lion Air	JT	7	China Airlines	CI
8	Wings Air	IW	8	Royal Brunei	BI
9	Batavia	Y6	9	Malaysia Airlines	MH
10	Express	XN	10	Cathay Pacific	CX
11	Air Fast	AFE	11	Eva Air	BR
12	Travira	TVR	12	Saudi Arabia Airlines	SA
13	Trigana	TGN			
14	Silk Air	MI			
15	Kalstar	KS			

Berdasarkan data yang ada, terdapat total 23 maskapai penerbangan yang dilayani oleh Bandara Juanda. Seluruh maskapai penerbangan tersebut menggunakan berbagai macam tipe pesawat. Pada Tabel 4.2 dan 4.3 disajikan tipe pesawat berdasarkan klasifikasi FAA dan ICAO, yang mana penggolongannya berdasarkan lebar sayap, dan jarak *landing gear* dengan *nose gear*. Berdasarkan data tipe pesawat yang dilayani Bandara Juanda, dapat diketahui bahwa tipe pesawat yang melakukan aktifitas di Bandara Juanda adalah pesawat kelas III-C, IV-D dan V-E.

Tabel 4.2. Klasifikasi Pesawat Menurut FAA

Tipe	Wingspan (ft)	Contoh Pesawat
I	< 49	Cessna 152-210, Beechcraft A36
II	49-78	Saab 2000, EMB-120, Saab 340,
III	79-117	Canadair RJ-100
IV	118-170	Boeing 737, MD-80, Airbus A-320
V	171-213	Boeing 757, Boeing 767, Airbus A-300 Boeing 747, Boeing 777, MD-11, Airbus A-340

Sumber : FAA, (2010)

Tabel 4.3. Klasifikasi Pesawat Menurut ICAO

Tipe	Wingspan (m)	Gear Widht (m)	Contoh Pesawat
A	< 15	< 4,5	Semua pesawat bermesin tunggal
B	15 - <24	4,5 - <6	EMB-120, Saab 2000,
C	24 - <36	6 - <9	Saab 340, etc
D	36 - <52	9 - <14	B-727, B-737, MD-80,
E	52 - <65	9 - <14	A-320 B-757, B-767, A-300 B-747, L-1011, MD-11, DC-10

Sumber : Basuki, (1986)

#### 4.2 Pengumpulan Data Pergerakan Pesawat

Dalam mendesain sebuah bandara baru maupun melakukan pengembangan akan bandara yang telah ada, pasti diperlukan tahun rencana, yaitu suatu kondisi sampai tahun berapakah bandara tersebut mampu melayani kebutuhan penerbangan. Agar tujuan ini dapat terwujud, perlu didapatkan nilai pergerakan pesawat di tahun rencana. Sebelumnya, terlebih dahulu dilakukan pengumpulan data-data sekunder, yaitu rekapitulasi pergerakan pesawat tahunan yang telah ada. Setelah itu baru dapat dilakukan pengolahan data dengan peramalan/forecasting.

Apabila peramalan telah dilakukan, maka data-data yang didapat akan digunakan sebagai dasar untuk merencanakan bandara yang bisa melayani kebutuhan penerbangan di tahun rencana. Jangka ramalan makin jauh, tingkat ketepatan dan ketelitiannya menyusut, maka perlu disadari bahwa ramalan jangka panjang 10-20 tahun hanyalah pendekatan. Dalam *forecasting* ini digunakan tahun rencana 12 tahun ke depan yaitu tahun 2026. Asumsi dasar yang dipakai dalam *forecasting* ini adalah :

1. *Forecasting* didasarkan pada data tahunan pergerakan selama 5 tahun (tahun 2010-2014).
2. Diasumsikan pola yang lalu berdasarkan data yang ada akan berkelanjutan hingga tahun rencana.
3. Data jumlah pergerakan pesawat hanya jumlah total dari kedatangan pesawat saja.
4. Pengaruh dari hari besar dan hari libur tidak diperhitungkan. (contoh : libur lebaran, natal dan tahun baru).
5. Pengaruh dari pertumbuhan penduduk, pendapatan daerah, dan pendapatan per kapita tidak diperhitungkan.

Tujuan dari *forecasting* ini adalah untuk memprediksi kejadian yang diperkirakan akan terjadi pada masa yang akan datang (tahun rencana) berdasarkan gejala-gejala yang terjadi pada saat ini dan masa lalu. Dalam perhitungan *forecasting* ini, digunakan data histori pergerakan pesawat dari tahun 2010-2014. Data-data tersebut diolah dan dianalisa berdasarkan model-model dan metode-metode yang berbeda. Kemudian dari hasil analisa yang berbeda itu, diambil hasil yang terbaik. Adapun model peramalan yang digunakan untuk memprediksi jumlah pergerakan pesawat pada tahun rencana adalah Metode Regresi Linier dan Arima.

Tabel 4.4 adalah rekapitulasi pergerakan pesawat di Bandara Juanda dari tahun 2010-2013 berdasarkan tipe pesawat. Data tersebut merupakan trend kegiatan di masa sekarang dan masa lalu yang akan digunakan untuk perhitungan *forecasting*.



Tabel 4.4. Rekapitulasi Pergerakan Pesawat Bandara Juanda

Tipe Pesawat	Kedatangan Pesawat per Tahun								
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
F27	125	55	43	0	0	0	0	0	0
F28	1475	260	81	0	0	0	0	0	0
F-50	1	5	1	0	2	0	104	28	0
F100	766	105	56	396	0	123	246	6	0
A313	16	14	11	0	0	0	0	0	0
A319	54	0	968	0	5766	193	41	0	0
A319-100	68	615	0	0	0	0	0	0	0
A320	129	0	2012	3723	0	2452	2332	4919	8986
A322	154	1,535	272	0	0	0	0	0	0
A330	3	0	27	475	504	488	559	533	551
A332	95	103	90	277	0	0	48	62	58
A333	142	164	149	475	0	140	261	173	210
A343	13	0	0	0	0	16	0	0	0
ATR-42	221	166	4	2376	0	507	3350	4361	3811

Tabel 4.4. (Lanjutan)

Tipe Pesawat	Kedatangan Pesawat per Tahun								
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
B722	234	1	0	0	0	0	0	0	0
B727	7	4	0	0	0	0	0	0	0
B732	13481	12,271	9994	3733	4864	2903	2258	2176	526
B733	5941	7,380	6944	9646	0	5669	4699	3681	1510
B734	7362	7,531	8327	7476	0	4275	3512	1762	1192
B735	203	127	814	259	0	74	342	1072	2243
B737	252	5	325	0	22095	373	1702	3283	1070
B738	9	421	140	4871	0	2875	4154	5030	6005
B739	0	0	229	7683	0	4383	6109	8209	9521
B742	2	6	1	0	0	0	0	0	0
B743	135	178	192	0	0	0	0	0	0
B747	70	0	4	951	190	10	54	90	63
B74A	17	2	0	0	0	0	0	0	0
B763	3	3	5	0	0	0	0	0	0
B767	6	0	14	0	19	0	0	0	0

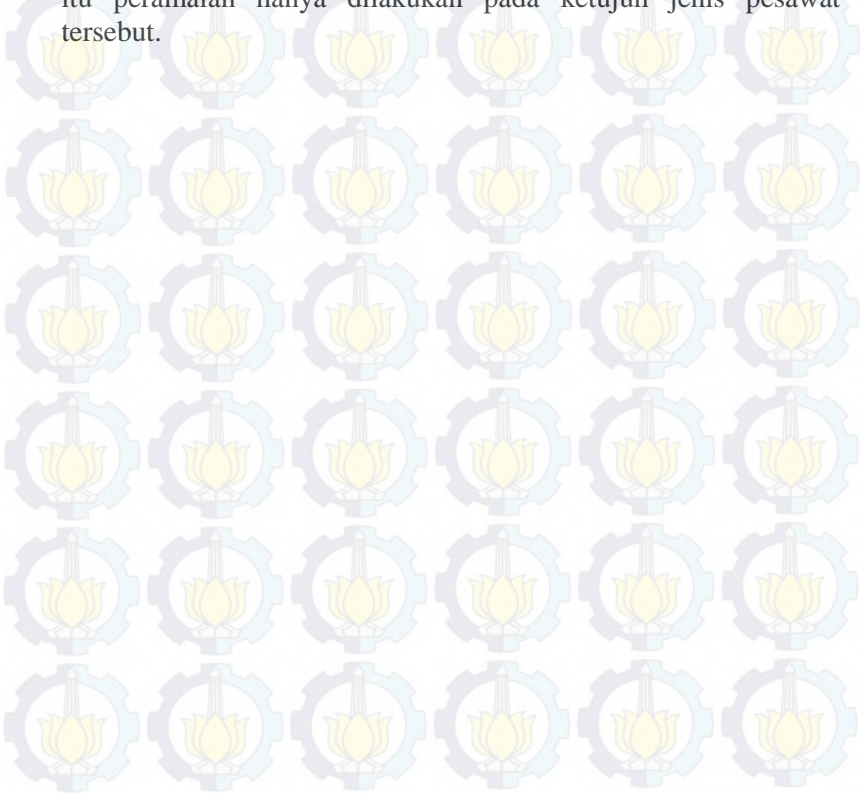
Tabel 4.4 (Lanjutan)

Tipe Pesawat	Kedatangan Pesawat per Tahun								
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
B772	222	4	3	0	0	0	0	0	0
B773	80	32	41	0	0	0	15	24	45
B777	8	0	1	0	40	49	0	9	35
BAE46	2	3	0	0	13	0	0	0	0
CRJ	0	0	0	0	0	0	0	82	1345
DC9	3	0	1	0	0	0	0	0	0
FK100	36	0	3	0	332	0	0	0	0
MA-60	0	0	4	0	2	0	184	436	229
MD80	18	14	559	475	0	227	270	10	0
MD82	7582	7,325	6226	277	5068	758	237	266	330
MD83	301	209	517	0	0	0	0	0	0
MD90	209	808	413	238	0	622	123	0	0
MD92	46	4	0	0	0	0	0	0	0

Pergerakan tahunan yang digunakan untuk perencanaan dengan ketiga metode.

Sumber : PT. Angkasa Pura 1

Tabel 4.4 menunjukkan pergerakan pesawat dari tahun 2005-2013, sebelum terminal 2 Bandara Juanda beroperasi. Pada tahun 2014, terminal 2 resmi beroperasi. Semua maskapai penerbangan internasional dan beberapa maskapai penerbangan domestik pindah ke terminal 2. Tabel 4.5 adalah data pergerakan di Terminal 1 Bandara Juanda pada tahun 2014. Berdasarkan data pergerakan pesawat tersebut, hanya 7 jenis pesawat yang beroperasi di terminal 1, yaitu Airbus A-320, ATR-72, Boeing B-733, B-734, B-735, B-738, dan B-739. Ketujuh pesawat tersebut ditunjukkan dengan warna lebih gelap pada tabel 4.5. Oleh karena itu peramalan hanya dilakukan pada ketujuh jenis pesawat tersebut.



Tabel 4.5. Pergerakan Pesawat Pada Tahun 2014 Bandara Juanda

TYPE PESAWAT	JUMLAH KEDATANGAN						
	JANUARI	FEBRUARI	MARET	APRIL	MEI	JUNI	JULI
A-319	0	0	0	0	0	0	0
A-320	887	796	830	342	383	388	401
A-330	62	54	79	0	0	0	0
A-332	4	16	5	0	0	0	0
A-333	17	16	0	0	0	0	0
A-340	0	0	0	0	0	0	0
ATR-72	262	222	214	230	334	194	199
B-732	31	0	0	0	0	0	0
B-733	79	134	158	103	119	144	149
B-734	140	30	31	30	31	60	62
B-735	199	154	170	175	193	161	167
B-737	0	2	0	0	0	0	0
B-738	558	460	568	82	79	271	281
B-739	790	706	915	633	832	780	807
B-747	0	2	0	8	0	0	0

Tabel 4.5. (Lanjutan)

TIPE PESAWAT	JUMLAH KEDATANGAN						
	JANUARI	FEBRUARI	MARET	APRIL	MEI	JUNI	JULI
B-773	0	0	0	0	0	0	0
B-777	0	0	0	0	0	0	0
CRJ	141	126	0	0	0	0	0
F-50	0	0	0	0	0	0	0
F-100	0	0	0	0	0	0	0
MA-60	38	0	0	0	0	0	0
MD-80	0	0	0	0	0	0	0
MD-82	31	18	25	0	0	0	0
MD-90	0	0	0	0	0	0	0

jenis pesawat yang dimasukkan dalam analisis

Sumber : PT. Angkasa Pura I

### 4.3 Data Struktur Perkerasan Apron

Sebelum dilakukan perhitungan ketebalan perkerasan, perlu diketahui jenis pesawat dan jumlah yang beroperasi di apron. Selain data tersebut, yang diperlukan yaitu berat maksimum pada waktu lepas landas masing-masing pesawat, konfigurasi roda, tekanan ban, dan jarak antar roda dalam satu gear. Data-data tersebut dapat dicari melalui buku spesifikasi pesawat yang diterbitkan oleh pabrik yang memproduksi pesawat tersebut.

Data tebal perkerasan, khususnya tebal lapisan pondasi agregat dan tebal lapisan ATB (*Ashpalt Treated Base*) disamakan dengan data struktur perkerasan untuk *apron* di bandar udara Juanda, Surabaya. Lapisan pondasi agregat dan lapisan ATB tersebut diperlakukan sebagai bagian dari tanah dasar yang diperhitungkan dalam penentuan modulus reaksi tanah dasar gabungan, *kgab*. Modulus reaksi tanah dasar (*k*) pada muka tanah dasar juga disesuaikan dengan data desain untuk *apron* di bandar udara Juanda, Surabaya.

Data modulus lentur beton (*Modulus of Rupture*), *MR28*, juga disesuaikan dengan data desain untuk *apron* di bandar udara Juanda, Surabaya, yaitu sebesar 4.413 MPa (= 45 kg/cm<sup>2</sup>). Sedangkan, untuk keperluan proses desain struktur perkerasan digunakan nilai *MR90* yang seharusnya diperoleh dari pengujian laboratorium atau dari model korelasi terhadap nilai *MR28* dengan menggunakan faktor pengali 110% (ICAO, 1983), sbb:

$$MR90 = 1.10 * MR28$$

*MR90* = *Modulus of Rupture* beton berumur 90 hari

*MR28* = *Modulus of Rupture* beton berumur 28 hari

Ringkasan data struktur perkerasan dan ketentuan teknis desain disajikan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6. Ringkasan Data Struktur Perkerasan dan Ketentuan Teknis Desain

<b>Data Struktur Perkerasan</b>	
Tebal Lapisan Pondasi Agregrat, $D_{agr}$ (cm) [CBR > 80 %]	20
Tebal Lapisan ATB, $D_{atb}$ (cm) [Stabilitas Marshall > 500 kg]	4
Modulus Lentur Pelat Beton, $MR_{90}$ (MPa)	4.86
Modulus Reaksi Tanah Dasar, $k$ (MN/m <sup>3</sup> )	54
Modulus Reaksi Tanah Dasar Gabungan, $k_{gab}$ (MN/M <sup>3</sup> )	80
<b>Ketentuan Teknis Desain</b>	
Faktor Keamanan, FK *)	1,7

Sumber : Dishub Pemprov Jatim, Pembangunan Apron dan Taxiway, 2008.

\*) Jurnal Junaidi, 2005.



## **BAB V**

### **ANALISA DATA**

#### **5.1 Pengolahan Data Untuk Peramalan**

Data yang tersedia pada bab sebelumnya menunjukkan pergerakan pesawat dari tahun 2005-2013, tetapi untuk beberapa jenis pesawat ada kekurangan data pada tahun 2009 dan 2008. Agar proses peramalan tidak dipengaruhi oleh kekosongan data, maka untuk peramalan yang digunakan adalah data tahun 2010-2013.

Dalam proses peramalan, perlu ditentukan metode peramalan yang diharapkan mendekati kondisi riil di lapangan. Menurut Laila (2014), metode peramalan untuk fluktuasi penumpang yang paling sesuai adalah menggunakan Arima. Ada 2 metode yang biasa digunakan dalam proses peramalan, yaitu metode regresi linier dan Arima. Tugas akhir ini menggunakan Arima untuk analisis selanjutnya. Metode regresi linier yang dilakukan di sini adalah untuk menunjukkan alasan mengapa metode ini tidak digunakan.

##### **5.1.1 Metode Regresi Linier**

Regresi linier adalah metode statistika yang digunakan untuk membentuk model hubungan antara variabel terikat dengan variabel bebas. Pada perhitungan *forecasting* ini yang merupakan variabel terikat (*dependent variable*) adalah nilai Y yaitu besar nilai pergerakan pesawat, sedangkan variabel bebasnya (*independent variable*) adalah nilai X yaitu tahun yang dicari. Jadi, nilai Y dipengaruhi dan ditentukan oleh nilai X, namun tidak berlaku sebaliknya.

Metode regresi linier ini hanya memiliki satu variabel bebas. Bentuk umum persamaan regresi linier :

$$Y_i = a + b X_i ; i = 1, 2, \dots, n$$

Dimana :

Y = Variabel terikat (*dependent variable*)

X = Variabel tidak terikat (*independent variable*)

- a,b = Parameter regresi  
 i = Pengamatan yang ke – i  
 n = Banyaknya pengamatan

Untuk perhitungan jumlah pergerakan pesawat di tahun rencana diambil sampel pesawat A-320 berdasarkan data pada tabel 4.5. Setelah itu dilakukan perhitungan sebagai berikut :

Banyak pengamatan = N = 4 (Tahun 2010-2013)

$$\frac{\sum xy}{\sum x} = \frac{(\sum x \sum y)}{(\sum x \sum y)}$$

Tabel 5.1. Pergerakan Pesawat A-320

TAHUN	TAHUN	PERGERAKAN	Xi.Yi	X <sup>2</sup>
	KE-	PESAWAT		
	Xi	Yi		
2010	1	2452	2452	1
2011	2	2332	4664	4
2012	3	4919	14757	6
2013	4	8986	35944	16
<b>JUMLAH</b>	10	18689	57817	30

Jumlah pergerakan pesawat A-320 pada tahun 2026, (x = 17) :

Jadi untuk pesawat A-320 didapatkan nilai  $Y=2218,9x - 875$  dengan jumlah pergerakan  $36846,3 \approx 36847$ . Nilai Y tersebut hanya berlaku untuk pesawat pesawat A-320. Untuk pesawat tipe lain nilai Y berbeda namun untuk mencari nilai a dan b caranya sama.

Setelah dilakukan perhitungan pesawat tipe lain didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 5.2. Hasil Peramalan Menggunakan Metode Regresi Linier.

TAHUN	JENIS PESAWAT						
	A-320	ATR-72	B-733	B-734	B-735	B-738	B-739
2010	2452	507	5669	4275	74	2875	4383
2011	2332	3350	4699	3512	342	4154	6109
2012	4919	4361	3681	1762	1072	5030	8209
2013	8986	3811	1510	1192	2243	6005	9521
2014	10220	5738	516	-65	2742	7083	11434
2015	12439	6831	-834	-1165	3466	8110	13186
2016	14658	7923	-2183	-2265	4190	9136	14937
2017	16877	9015	-3533	-3365	4914	10163	16689
2018	19096	10108	-4882	-4465	5637	11189	18440
2019	21314	11200	-6232	-5564	6361	12216	20191
2020	23533	12292	-7581	-6664	7085	13243	21943
2021	25752	13385	-8931	-7764	7808	14269	23694
2022	27971	14477	-10280	-8864	8532	15296	25446
2023	30190	15569	-11630	-9964	9256	16322	27197
2024	32409	16661	-12979	-11064	9979	17349	28948
2025	34628	17754	-14329	-12164	10703	18376	30700
<b>2026</b>	<b>36847</b>	<b>18846</b>	<b>-15678</b>	<b>-13264</b>	<b>11427</b>	<b>19402</b>	<b>32451</b>

Dari hasil perhitungan tersebut ada yang menunjukkan nilai negatif. Dalam perhitungan pergerakan pesawat nilai negatif tidak mungkin terjadi. Oleh karena itu metode ini tidak digunakan dalam peramalan. Nilai negatif tersebut disebabkan oleh beberapa tipe pesawat mengalami tren penurunan yang konstan, sehingga metode ini meramalkan dengan mengikuti tren tersebut hingga mencapai nilai negatif.

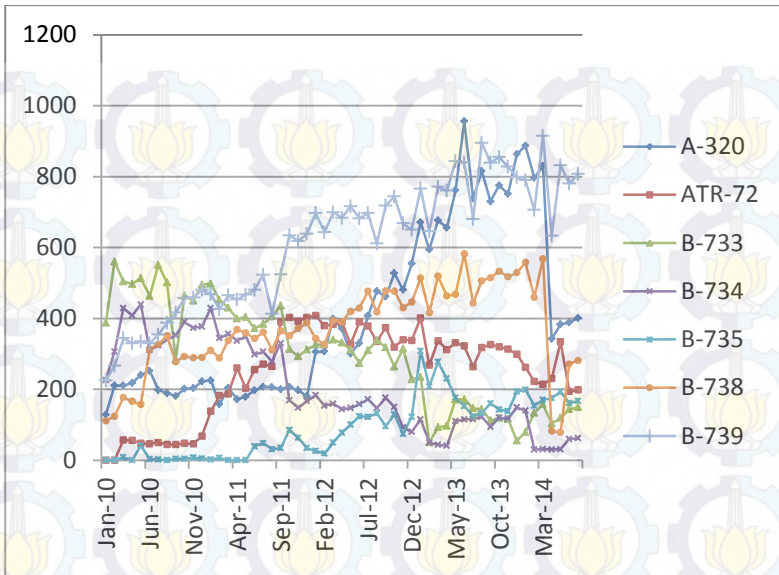
### 5.1.2 Metode ARIMA (*Autoregressive Integrated Moving Average*)

Model ARIMA adalah model yang secara penuh mengabaikan independen variabel dalam pembuatan peramalan. ARIMA menggunakan nilai masa lalu dan sekarang dari variabel dependen untuk menghasilkan peramalan jangka pendek yang akurat. Namun untuk peramalan jangka panjang ketepatan peramalannya kurang baik. Tujuan ARIMA adalah untuk menentukan hubungan statistik yang baik antar variabel yang diramal dengan nilai historis variabel tersebut sehingga peramalan dapat dilakukan dengan model tersebut. Metode ARIMA ini sudah dilakukan pada peramalan jumlah penumpang pada Tugas Akhir Laila, 2014.

#### 1. Plot Data

Pada peramalan ARIMA yang dilakukan pertama kali adalah melihat pola data dalam hal ini data kedatangan pesawat yang beroperasi di terminal 1 Bandara Juanda. Data yang digunakan dalam peramalan ARIMA adalah data bulanan. Berikut *time series plot* jumlah keberangkatan penumpang domestik Bandara Internasional Juanda dari tahun 2010-2014.

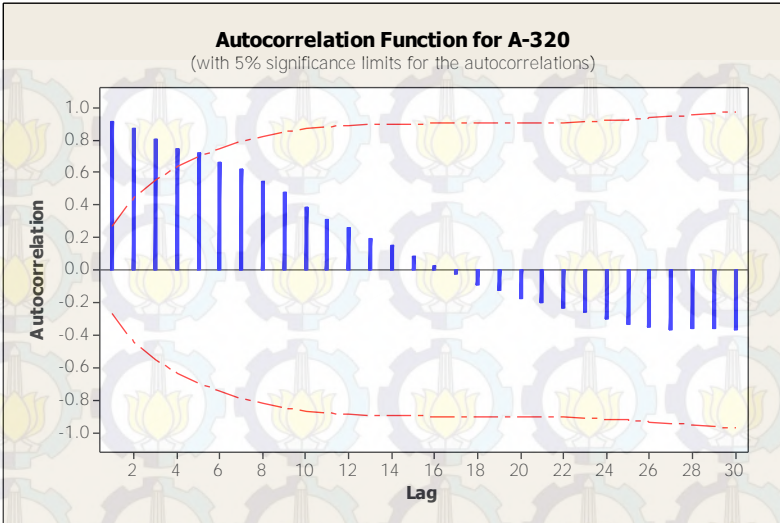
Pada gambar 5.1 menunjukkan pola data kedatangan pesawat ada yang mengalami trend kenaikan dan penurunan dari tahun ke tahun. Dari plot tersebut dapat dilihat pada maret 2014 ada beberapa tipe pesawat yang mengalami trend penurunan yang cukup signifikan setelah terminal 2 mulai beroperasi, dan untuk tipe pesawat yang lain cenderung konstan dari tahun 2010-2014.



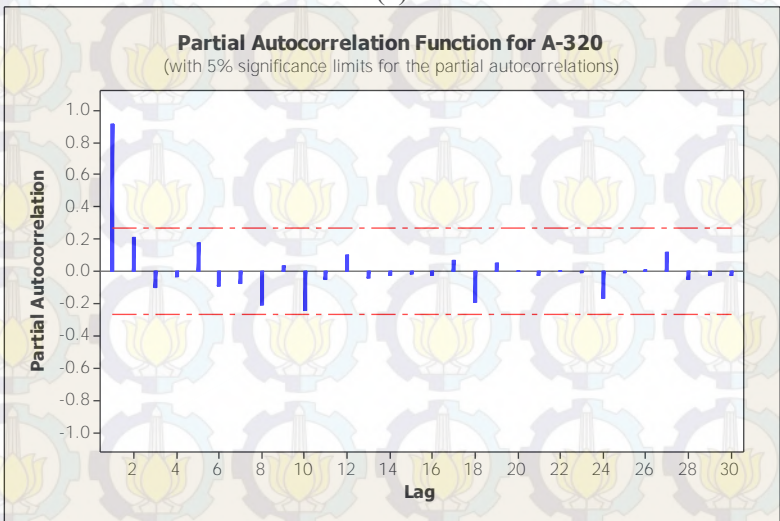
Gambar 5.1. Plot Jumlah Kedatangan Pesawat Tahun 2010-2014.

## 2. **Pemodelan ARIMA**

Pada tahap pemodelan yakni pendugaan model ARIMA yang akan digunakan terlebih dahulu melihat ACF (*Autocorrelation Function*) dimana ACF ini mendeteksi ordo MA(q) dan PACF (*Partial Autocorrelation Function*) dimana PACF mendeteksi ordo AR(p). Sebagai contoh digunakan pesawat tipe A-320.



Gambar 5.2. Plot ACF (*Autocorrelation Function*)  
(a)



Gambar 5.3. Plot PACF (*Partial Autocorrelation Function*)  
(b)

Pada gambar a Plot ACF terdapat *lag* signifikan yakni *lag* 1, 2, 3, 4 dan 5. Sedangkan pada gambar b plot PACF terdapat *lag* signifikan yakni *lag* 1. Kedua plot tersebut digunakan dalam pendugaan model ordo AR(p) dan MA(q), dengan bentuk umum model ARIMA (p,d,q). Berikut hasil pendugaan model ARIMA (1,0,0) :

#### Final Estimates of Parameters

Type	Coef	SE Coef	T	P
AR 1	0.9886	0.0265	37.26	0.000

#### Gambar 5.4. Uji Signifikan Parameter Arima (1,0,0)

#### Modified Box-Pierce (Ljung-Box) Chi-Square statistic

Lag	12	24	36	48
Chi-Square	20.9	33.5	39.3	42.4
DF	11	23	35	47
P-Value	0.035	0.073	0.285	0.663

#### Forecasts from period 55

#### Gambar 5.5. Uji Asumsi *White Noise* ARIMA

Dari estimasi pada gambar 5.4 dan 5.5 menunjukkan bahwa semua parameter untuk model ini sudah signifikan pada alfa 5% dan sudah berdistribusi normal. Hal ini dapat dilihat dari nilai *p-value* yang  $> 0,05$ .

Dari peramalan dengan metode ini didapatkan hasil peramalan untuk semua jenis pesawat seperti pada tabel 4.8.

Tabel 5.3. Hasil Peramalan Dengan Metode ARIMA Tahun 2022

TAHUN	BULAN	JENIS PESAWAT						
		A-320	ATR-72	B-733	B-734	B-735	B-738	B-739
2022	JANUARI	143	191	126	32	97	201	993
	FEBRUARI	141	190	126	31	97	200	996
	MARET	140	190	126	31	96	200	998
	APRIL	138	190	126	31	96	199	1001
	MEI	137	190	126	31	95	199	1003
	JUNI	135	190	125	31	95	198	1006
	JULI	134	189	125	30	94	198	1008
	AGUSTUS	132	189	125	30	93	197	1011
	SEPTEMBER	131	189	125	30	93	197	1013
	OKTOBER	129	189	125	30	92	196	1016
	NOPEMBER	128	189	125	29	92	195	1018
	DESEMBER	126	189	125	29	91	195	1021



Tabel 5.4. Hasil Peramalan Dengan Metode ARIMA Tahun 2026

TAHUN	BULAN	JENIS PESAWAT						
		A-320	ATR-72	B-733	B-734	B-735	B-738	B-739
2026	JANUARI	83	182	119	22	73	176	1118
	FEBRUARI	82	182	119	22	73	175	1121
	MARET	81	181	119	22	72	175	1124
	APRIL	80	181	119	22	72	174	1127
	MEI	79	181	118	21	71	174	1129
	JUNI	78	181	118	21	71	173	1132
	JULI	77	181	118	21	70	173	1135
	AGUSTUS	76	181	118	21	70	172	1138
	SEPTEMBER	75	180	118	21	70	172	1141
	OKTOBER	75	180	118	21	69	171	1144
	NOPEMBER	74	180	117	21	69	171	1146
	DESEMBER	73	180	117	20	68	170	1149

## 5.2 Perhitungan Tebal Perkerasan Apron

Perkerasan yang digunakan pada apron selalu berupa perkerasan kaku (*rigid pavement*). Jenis perkerasan ini umumnya digunakan sebagai metode perhitungan perkerasan untuk daerah parkir pesawat atau daerah-daerah yang mendapat pengaruh panas jet blast dan limpahan minyak. Untuk menentukan ketebalan dari perkerasan apron ini terdapat tiga metode yang digunakan, yaitu FAA, PCA, dan LCN. Dalam tugas akhir ini, perhitungan tebal perkerasan dengan ketiga metode tersebut menggunakan data pergerakan pesawat pada tahun 2013.

### 5.2.1 Metode FAA (*Federal Aviation Administration*)

Metode perencanaan FAA yang digunakan adalah metode perencanaan yang mengacu pada standar perencanaan perkerasan FAA Advisory Circular No. AC 150/5320-6C, *Airport Pavement Design and Evaluation*. Bagan alir perhitungan dapat dilihat pada gambar 3.2.

#### 1. Menentukan Pesawat Rencana

Pesawat rencana dapat ditentukan dengan melihat jenis pesawat yang beroperasi dan besar MSTOW (*Maximum Structural Take Off Weight*) dan data jumlah keberangkatan tiap jenis pesawat yang berangkat tersebut. Lalu dipilih jenis pesawat yang menghasilkan tebal perkerasan yang paling besar. Pemilihan pesawat rencana ini pada dasarnya bukanlah berasumsi harus berbobot paling besar, tetapi jumlah pesawat yang paling banyak parkir di apron yang direncanakan. Pada perencanaan ini digunakan data pergerakan pesawat di Bandara Juanda pada tahun 2013 dan dipilih pesawat Boeing B-739 dengan konfigurasi roda dual wheel sebagai pesawat rencana karena memiliki tingkat pergerakan paling tinggi. Pesawat ini kemudian ditetapkan sebagai pesawat yang membutuhkan tebal perkerasan yang paling besar.

## 2. Mengkonversikan Tipe Roda Tiap Pesawat (R2)

Tipe roda pendaratan menentukan bagaimana berat pesawat dibagi bebannya kepada roda-roda dan diteruskan ke perkerasan. Tipe roda pendaratan tiap jenis pesawat berbeda-beda, oleh karena itu perlu dikonversikan sesuai dengan tabel konversi konfigurasi roda pesawat pada tabel 2.1.

Dari tabel 2.1, konfigurasi roda paling kompleks adalah double dual tandem. Saat ini di Bandara Juanda juga beroperasi pesawat Boeing B-777 dengan konfigurasi roda dual tridem. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dijelaskan bahwa efek pada perkerasan yang ditimbulkan oleh pesawat B-777 dengan konfigurasi roda dual tridem, sama dengan efek yang ditimbulkan oleh pesawat dengan konfigurasi roda double dual tandem. Oleh karena itu faktor pengalinya sama dengan konfigurasi roda double dual tandem, yaitu 1,7 (Gopalakrishnan/Thompson, 2006).

## 3. Menentukan Beban Roda Pendaratan Utama Pesawat (W<sub>2</sub>)

Tipe roda pendaratan utama sangatlah menentukan dalam perhitungan tebal perkerasan. Hal ini dikarenakan penyaluran beban pesawat melalui roda-roda ke perkerasan. Untuk merencanakan kekuatan landasan, dianggap bahwa 5% beban diberikan kepada nose gear sedangkan yang 95% dibebankan kepada main gear. Apabila ada dua main gear, maka masing-masing gear menahan 47,5% beban pesawat. Dalam perhitungannya dengan menggunakan rumus :

$$W_2 = P \times MTOW \times \frac{1}{A} \times \frac{1}{B} \quad (\text{Persamaan 5.1})$$

Dimana :

$W_2$  = Beban roda pendaratan dari masing-masing jenis pesawat

MTOW = Berat kotor pesawat saat lepas landas

A = Jumlah konfigurasi roda

B = Jumlah roda per satu konfigurasi

P = Presentase beban yang diterima roda pendaratan utama

Dalam perencanaan ini digunakan tipe pesawat B-739 dengan konfigurasi roda dual wheel dan MTOW sebesar 174.197 lbs, maka beban roda pendaratan utama pesawat ( $W_2$ ) :

$$W_2 = P \times MTOW \times \frac{1}{A} \times \frac{1}{B}$$

$$W_2 = 95\% \times 174.197 \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2}$$

$$W_2 = 41.372 \text{ lbs}$$

#### 4. Menentukan Nilai Ekuivalen Keberangkatan Tahunan Pesawat Rencana

Pada lalu-lintas pesawat, struktur perkerasan harus mampu melayani berbagai macam jenis pesawat yang mempunyai tipe roda pendaratan yang berbeda-beda dan bervariasi beratnya. Pengaruh dari beban yang diakibatkan oleh semua jenis model lalu lintas itu harus dikonversikan ke dalam pesawat rencana yaitu B-739 dengan *equivalent annual departure* dari pesawat-pesawat campuran tadi, sehingga dapat disimpulkan bahwa perhitungan ini berguna untuk mengetahui total keberangkatan keseluruhan dari bermacam pesawat yang telah dikonversikan ke dalam pesawat rencana. Untuk menentukan  $R_1$  dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$\text{Log } R_1 = \text{Log } R_2 \left( \frac{W_2}{W_1} \right)^{1/2} \quad (\text{Persamaan 5.2})$$

Dimana :

$R_1$  = Keberangkatan tahunan ekuivalen oleh pesawat rencana (pound)

$R_2$  = Jumlah keberangkatan tahunan oleh pesawat berkenaan dengan konfigurasi roda pendaratan rencana

$W_1$  = Beban roda pesawat rencana (pound)

$W_2$  = Beban roda pesawat yang harus diubah

Untuk hasil perhitungan *equivalent annual departure* dapat dilihat pada tabel 5.5. dan berikut ini adalah contoh langkah perhitungan untuk pesawat A-330 :

R2 = faktor pengali untuk keberangkatan x average annual departure

$$R2 = 1,7 \times 551 = 937$$

Mencari *Wheel Load (W2)*, digunakan persamaan :

$$W_2 = P \times MTOW \times \frac{1}{A} \times \frac{1}{B}$$

$$W_2 = 95\% \times 507.058 \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{4}$$

$$W_2 = 60.214 \text{ lbs}$$

Mencari *Wheel Load Rencana (W1)* digunakan nilai *wheel load B-739* sebagai pesawat rencana. Untuk mendapatkan *equivalent annual departure* digunakan persamaan :

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

$$\text{Log } R_1 = \text{Log } 937 \left( \frac{60.214}{41.372} \right)^{1/2}$$

$$R_1 = 3847,166 \approx 3848$$

Pola perhitungan seperti di atas dilakukan terhadap seluruh tipe pesawat. Tabel 5.5. menunjukkan hasil perhitungan untuk seluruh tipe pesawat.

Tabel 5.5. Rekapitulasi Perhitungan *Equivalent Annual Departure* (R1)

JENIS PESAWAT	ANNUAL DEPARTURE	GEAR TYPE	NO. OF WHEEL	MTOW (lb)	CONVERSION	Eq.DUAL WHEEL DEPARTURE	WHEEL LOADS (lb)	WHEEL LOAD EFFECTIVE (lb)	Eq.ANNUAL DEPARTURE (R1)
A-320	8986	dual wheel	4	169754	1	8986	40317	41372	7996
A-330	551	dual tandem	8	507058	1.7	937	60214	41372	3848
A-332	58	dual tandem	8	507058	1.7	99	60214	41372	256
A-333	210	dual tandem	8	507058	1.7	357	60214	41372	1202
ATR-72	3811	dual wheel	4	47408	1	3811	11260	41372	74
B-732	526	dual wheel	4	115500	1	526	27432	41372	165
B-733	1510	dual wheel	4	124495	1	1510	29568	41372	487
B-734	1192	dual wheel	4	138494	1	1192	32893	41372	554
B-735	2243	dual wheel	4	115500	1	2243	27432	41372	536
B-737	1070	dual wheel	4	146210	1	1070	34725	41372	597

Tabel 5.5. (Lanjutan)

JENIS PESAWAT	ANNUAL DEPARTURE	GEAR TYPE	NO. OF WHEEL	MTOW (lb)	CONVERTION	Eq,DUAL WHEEL DEPARTURE	WHEEL LOADS (lb)	WHEEL LOAD EFFECTIVE (lb)	Eq-ANNUAL DEPARTURE (R1)
B-738	6005	dual wheel	4	155491	1	6005	36930	41372	3715
B-739	9521	dual wheel	4	174197	1	9521	41372	41372	9521
B-747	63	double dual tandem	16	833000	1.7	108	49460	41372	168
B-773	45	tridem	12	632500	1.7	77	50073	41372	119
B-777	35	tridem	12	535000	1.7	60	42355	41372	63
CRJ	1345	dual wheel	4	90000	1	1345	21375	41372	178
MA-60	229	dual wheel	4	48060	1	229	11415	41372	18
MD-82	330	dual wheel	4	149500	1	330	35507	41372	216
								<b>Jumlah</b>	<b>29713</b>

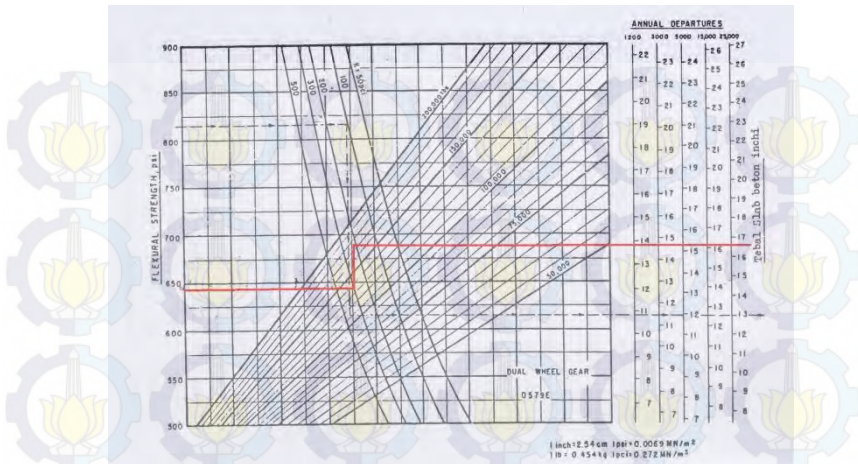
Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan, didapatkan besar nilai *equivalent annual departure (RI)* yaitu 29.713 dengan pesawat rencana B-739. Maka karakteristik pesawat B-739 yang nantinya akan digunakan sebagai dasar perhitungan tebal perkerasan.

### 5. Menentukan Tebal Slab Beton

Dengan menggunakan gambar 5.6. memplotkan kuat lentur beton sebesar 640 psi (data struktur perkerasan) dan ditarik garis horisontal ke kanan hingga bertemu dengan nilai  $K=300$  pci. Dari titik pertemuan tersebut ditarik garis vertikal ke atas hingga bertemu MTOW pesawat rencana (174.197 lbs), kemudian ditarik garis horisontal ke kanan untuk mengetahui tebal slab beton yang dibutuhkan berdasarkan annual departure. Nilai annual departure yang digunakan adalah 29.713 pergerakan. Karena grafik perencanaan yang tersedia adalah grafik perencanaan untuk tingkat keberangkatan tahunan maksimum 25.000 keberangkatan, maka untuk keberangkatan tahunan diatas 25.000, grafik tersebut juga dapat digunakan dengan mengalikan hasil akhir tebal total perkerasan yang didapat dengan menggunakan grafik keberangkatan tahunan 25.000 dengan angka persentase yang diberikan pada tabel 2.2.

Dari kurva yang tersedia untuk tingkat keberangkatan 25.000 pergerakan menunjukkan tebal perkerasan beton sebesar 16,5 inchi. Hasil ini kemudian dikalikan dengan presentase pengali sebesar 1,04 karena hasil annual departure menunjukkan lebih dari 25.000 (diasumsikan 50.000 pergerakan). Sehingga hasil akhir dari metode ini menghasilkan ketebalan sebesar  $= 16,5 \times 1,04 = 17.16$  inch (43.58 cm  $\approx$  44 cm).





Gambar 5.6. Perhitungan Tebal Slab Beton

## 6. Perhitungan Tulangan

Perhitungan penulangan pada subbab ini merupakan konsep dasar dalam perhitungan kebutuhan tulangan pada perkerasan apron, sehingga untuk hasil dari perhitungan ini perlu dilakukan analisa lebih jika akan digunakan di lapangan karena kondisi riil penulangan di lapangan lebih kompleks sesuai dengan karakter beban.

Direncanakan :

$$\text{Panjang x Lebar slab beton (L)} = 7,5 \times 7,5 \text{ m}$$

$$\text{Tebal slab beton (t)} = 44 \text{ cm} = 440 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak joint construction} = 20 \text{ ft}$$

$$\text{Tegangan tarik ijin (fs)} = 3900 \text{ kg/cm}^2$$

Tabel 5.6. Jarak *Construction Joint* Longitudinal dan Transversal

Tebal Slab		Joint Spacing (Maximum)	
In	mm	ft	m
8,0-10	203-254	12,5	3,8
10,5-13	267-330	15	4,6
13,5-16	343-406	17,5	5,3
>16	>406	20	6,1

Sumber : FAA (2010)

$$A_s = \frac{0,64 \times L \sqrt{L t}}{f_s} = \frac{0,64 \times 750 \sqrt{750 \times 440}}{3900} = 70,70231 \text{ cm}^2$$

$$= 7070,231 \text{ mm}^2$$

Direncanakan tulangan diameter  $D = 13 \text{ mm}$

$$A_{tul} = \frac{1}{4} \pi d^2 = 132,665 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah Tulangan} = \frac{5180,947}{132,665} = 53,294 \approx 54 \text{ buah}$$

$$\text{Jarak Tulangan} = \frac{7500}{54} = 139 \text{ mm}$$

Maka dapat disimpulkan bahwa perkerasan apron menggunakan tebal slab beton  $44 \text{ cm} = 17,1 \text{ inch}$  dengan tulangan D13-100. Sebagai penyambung antara slab beton, berdasarkan tabel 5.7 dibutuhkan dowel untuk tebal slab beton sebesar  $17,1 \text{ inch}$  digunakan dowel dengan diameter  $40 \text{ mm}$ , panjang  $510 \text{ mm}$ , dan spasi ke arah longitudinal dan transversal sebesar  $460 \text{ mm}$ .

Tabel 5.7. Ketentuan Dimensi dan Spasi Dowel

Tebal Slab Beton	Diameter	Panjang	Spasi
6-7 in (150-180 mm)	$\frac{3}{4}$ in (20 mm)	18 in (460 mm)	12 in (305 mm)
8-12 in (210-305 mm)	1 in (25 mm)	19 in (480 mm)	12 in (305 mm)
13-16 in (330-405 mm)	$1\frac{1}{4}$ in (30 mm)	20 in (510 mm)	15 in (380 mm)
17-20 in (430-510 mm)	$1\frac{1}{2}$ in (40 mm)	20 in (510 mm)	18 in (460 mm)
21-24 in (535-610 mm)	2 in (50 mm)	24 in (610 mm)	18 in (460 mm)

Sumber : Basuki, (1985)

### 5.2.2 Metode PCA (*Portland Cement Association*)

Metode *PCA* didasarkan *Westergard interior load analysis* yakni, pembebanan ditengah pelat untuk menentukan tegangan yang terjadi pada perkerasan beton karena lalu lintas beban roda (Horonjeff R, 1975). Ada dua metode perencanaan yang dibuat oleh *PCA* untuk merencanakan perkerasan kaku. Metode pertama didasarkan pada faktor keamanan, sedangkan metode kedua didasarkan pada konsep kelelahan. Bagan alir perhitungan dapat dilihat pada gambar 3.3.

#### 1. Perencanaan dengan Faktor Keamanan

Faktor keamanan adalah perbandingan *modulus of rupture* beton umur 90 hari dengan *working stress* (tegangan kerja) :

$$FK = \frac{MR_{90}}{Working\ Stress} \quad (\text{Persamaan 5.3})$$

Dimana :

FK = Faktor Keamanan  
 MR = *Modulus of Rapture* beton umur 90 hari  
 Working Stress = Tegangan Kerja

Nilai angka keamanan dan besarnya *modulus of rupture* dipakai sesuai dengan ketentuan teknis desain yaitu 1,7 dengan nilai  $MR_{90}$  sebesar 4,86 Mpa (704,8834 psi). Setelah didapat nilai FK dan  $MR_{90}$ , kemudian dihitung besarnya *working stress* atau tegangan kerja yang mampu dilayani oleh perkerasan tersebut. Tegangan kerja didapat dengan cara :

$$FK = \frac{MR_{90}}{Working\ Stress}$$

$$Working\ Stress = \frac{MR_{90}}{FK}$$

$$Working\ Stress = \frac{704,8834}{1,7} = 414,637\ psi$$

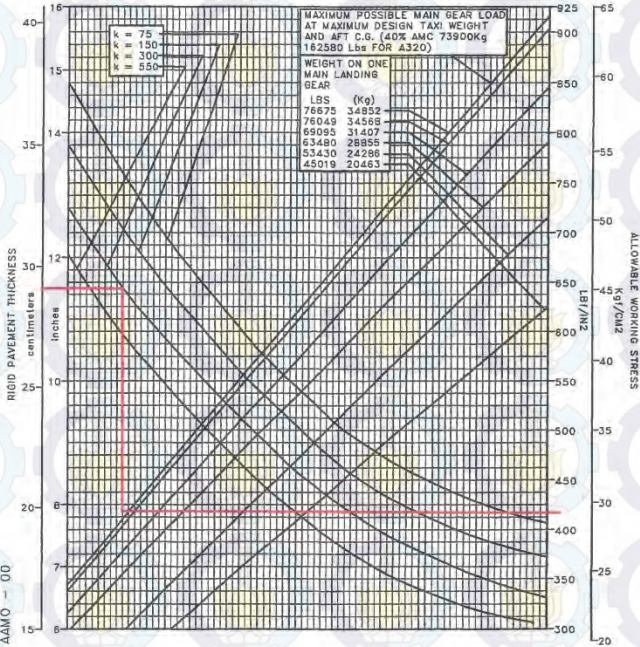
Dengan harga K sesuai ketentuan desain, yaitu 300 pci dan *working stress* 414,637 psi, nilai tersebut kemudian diplotkan ke dalam grafik PCA tiap jenis pesawat yang terdapat dalam buku spesifikasi pesawat yang diterbitkan oleh pabrik yang memproduksi pesawat tersebut. Dari grafik tersebut akan didapatkan tebal yang dibutuhkan oleh masing-masing tipe pesawat.

Digunakan sebagai contoh pesawat tipe A-320. Untuk mendapatkan tebal perkerasan yang dibutuhkan pesawat tersebut yaitu dengan menarik garis horisontal ke kiri dari *working stress* yang mampu dilayani hingga menyentuh garis MTOW pesawat, lalu dilanjutkan menarik garis vertikal ke atas hingga menyentuh garis  $K = 300$  pci, dan terakhir menarik garis vertikal ke kiri hingga mendapat tebal perkerasan yang dibutuhkan yaitu 11,5 inch, seperti yang terlihat pada gambar 5.7.

**A320**

**AIRPLANE CHARACTERISTICS**

NOTE : Tyre pressure Constant = 14 bar 203 lbf/in<sup>2</sup>



NOTES : THE VALUES OBTAINED BY USING THE MAXIMUM LOAD REFERENCE LINE AND ANY VALUES FOR k ARE EXACT FOR LOADS LESS THAN MAXIMUM. THE CURVES ARE EXACT FOR k=300 BUT DEVIATE SLIGHTLY FOR ANY OTHER VALUES OF k.

REFERENCE : "DESIGN OF CONCRETE AIRPORT PAVEMENTS" AND "COMPUTER PROGRAM FOR AIRPORT PAVEMENT DESIGN-PROGRAM PDLIB" PORTLAND CEMENT ASSOCIATION.

Rigid Pavement Requirements - Portland Cement Association (PCA)

Gambar 5.7. Perhitungan Tebal Slab Beton A-320

Cara yang sama berlaku untuk tipe pesawat lain dengan nilai K dan *working stress* sama. Setelah diperoleh tebal yang dibutuhkan oleh semua jenis pesawat, dipilih tebal perkerasan yang menghasilkan nilai paling besar. Metode ini tidak dipengaruhi oleh jumlah kedatangan pesawat. Pada tabel 5.8 ditunjukkan seluruh hasil pembacaan grafik tebal perkerasan yang dibutuhkan oleh masing-masing pesawat.

Tabel 5.8. Rekapitulasi Tebal Perkerasan Metode FK

JENIS PESAWAT	GEAR TYPE	NO. OF GEAR	MTOW (lb)	GEAR LOADS (lb)	MR <sub>90</sub> BETON (PSI)	FK	WORKING STRESS (PSI)	K	TEBAL PERKERASAN (INCH)
A-320	dual wheel	2	169754	80634	704.8834	1.7	414.6372941	300	11.5
A-330	dual tandem	2	507058	240853	704.8834	1.7	414.6372941	300	11.85
A-332	dual tandem	2	507058	240853	704.8834	1.7	414.6372941	300	11.85
A-333	dual tandem	2	507058	240853	704.8834	1.7	414.6372941	300	11.85
ATR-72	dual wheel	2	47408	22519	704.8834	1.7	414.6372941	300	6
B-732	dual wheel	2	115500	54863	704.8834	1.7	414.6372941	300	9.8
B-733	dual wheel	2	124495	59136	704.8834	1.7	414.6372941	300	10.43
B-734	dual wheel	2	138494	65785	704.8834	1.7	414.6372941	300	11.2
B-735	dual wheel	2	115500	54863	704.8834	1.7	414.6372941	300	9.9
B-737	dual wheel	2	146210	69450	704.8834	1.7	414.6372941	300	11.4
B-738	dual wheel	2	155491	73859	704.8834	1.7	414.6372941	300	11.6
B-739	dual wheel	2	174197	82744	704.8834	1.7	414.6372941	300	12.43
B-747	double dual tandem	4	833000	197838	704.8834	1.7	414.6372941	300	13.2
B-773	tridem	2	632500	300438	704.8834	1.7	414.6372941	300	11.23

Tabel 5.8. (Lanjutan)

JENIS PESAWAT	GEAR TYPE	NO. OF GEAR	MTOW (lb)	GEAR LOADS (lb)	MR <sub>90</sub> BETON (PSI)	FK	WORKING STRESS (PSI)	K	TEBAL PERKERASAN (INCH)
B-777	tridem	2	535000	254125	704.8834	1.7	414.6372941	300	11.62
CRJ	dual wheel	2	90000	42750	704.8834	1.7	414.6372941	300	8.1
MA-60	dual wheel	2	48060	22829	704.8834	1.7	414.6372941	300	6
MD-82	dual wheel	2	149500	71013	704.8834	1.7	414.6372941	300	11.8

Dari tabel 5.8 menunjukkan tebal perkerasan yang paling besar yaitu 13,2 inch  $\approx$  33,5 cm yang dihasilkan oleh pesawat tipe B-747. Oleh karena itu, hasil tersebut dipilih sebagai hasil akhir dari metode ini.

## 2. Perencanaan dengan Konsep Kelelahan

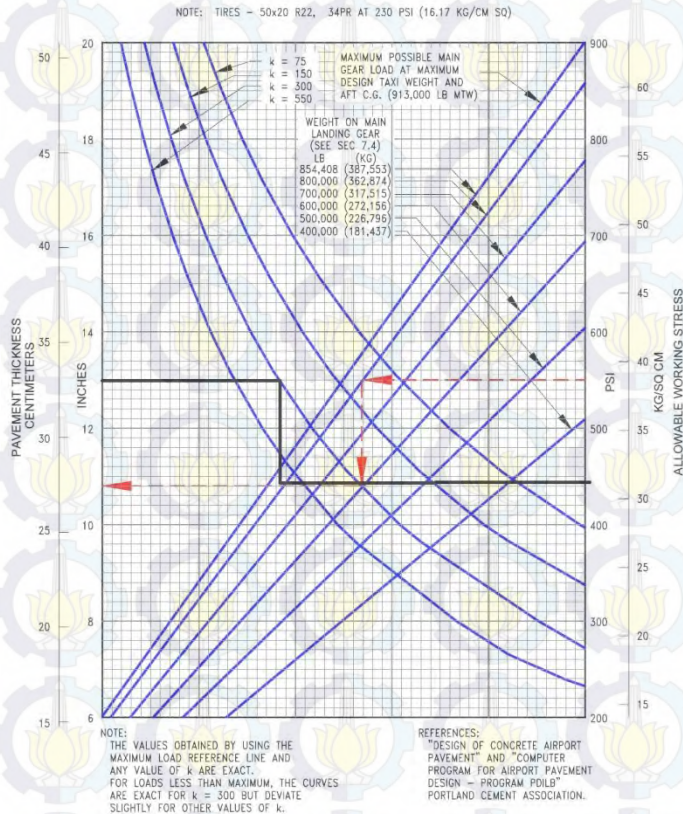
Seperti bahan-bahan struktural lainnya, beton pun bisa mengalami kelelahan. Keruntuhan beton akibat kelelahan terjadi apabila beton mendapat beban repetisi yang melampaui ketahanannya.

Dalam perhitungan dengan konsep kelelahan, data lalu lintas pesawat campuran yang harus dilayani oleh perkerasan dibutuhkan. Dasar perencanaannya adalah berdasarkan trial and error. Berikut langkah-langkah menentukan tebal perkerasan yang dibutuhkan :

- a. Menentukan kira-kira tebal slab beton.  
Metode konsep kelelahan bisa saling kontrol dengan metode angka keamanan. Oleh karena itu tebal perkerasan yang dihasilkan oleh faktor keamanan akan dikontrol dengan metode konsep kelelahan, yaitu 33,5 cm.
- b. Menentukan tipe pesawat dan jumlah pergerakan berdasarkan data yang tersedia.
- c. Menentukan *flexural stress* pesawat.  
Nilai *flexural stress* pesawat didapatkan dengan memplotkan data yang ada sesuai dengan ketentuan teknis desain, yaitu nilai K, MTOW, dan tebal perkerasan rencana ke dalam grafik PCA sama seperti grafik yang digunakan pada faktor keamanan. Cara membaca grafik hampir sama dengan metode faktor keamanan, hanya saja metode konsep kelelahan membaca grafik dari penentuan tebal dahulu hingga mendapatkan *flexural stress* yang dihasilkan oleh pesawat. Sebagai contoh digunakan pesawat tipe B-747. Langkah pertama yaitu memplotkan tebal perkerasan yang ingin ditinjau, yaitu 33,5 cm,



kemudian menarik garis vertikal ke kanan hingga menyentuh garis  $K=300$  pci, lalu menarik garis vertikal ke bawah hingga bertemu garis MTOW pesawat, dan akhirnya ditarik garis horisontal hingga mendapatkan nilai *flexural stress* yang dihasilkan oleh pesawat B-747 terhadap perkerasan dengan tebal 33,5 cm, yaitu 442 psi.



Gambar 5.8. Penentuan Nilai *Flexural Stress*

d. Menghitung *stress ratio*.

Untuk menghitung *stress ratio* digunakan rumus :

$$\text{Stress Ratio} = \frac{\text{Flexural Stress}}{\text{Flexural Strength}} \quad (\text{Persamaan 5.4})$$

Dimana:

Flexural Stress = Tegangan bengkok

Flexural Strength = Kuat bengkok

Dari langkah sebelumnya didapat *flexural stress* untuk tipe pesawat B-747 sebesar 442 psi dan *flexural strength* beton sebesar 640,05 psi, kemudian dihitung dengan rumus di atas untuk mendapat *stress ratio* :

$$\text{Stress Ratio} = \frac{442}{640,05} = 0,69$$

- e. Menentukan repetisi beban gear yang diijinkan untuk setiap jenis pesawat.

Test kelelahan pada beton menunjukkan bahwa bila *stress ratio* < 0,51, beton itu mampu menerima beban repetisi sampai pengulangan yang tak terhingga, akan tetapi bila *stress ratio* meningkat, beban repetisi yang diijinkan akan berkurang. Dari tabel 2.5 menunjukkan *stress ratio* sebesar 0,69 memiliki nilai repetisi beban gear yang diijinkan sebesar 2500 lbs.

- f. Menentukan *Load Repetition Factor* (LRF).

Setiap lintasan sumbu roda dari jenis pesawat udara tertentu pada perkerasan biasanya tidak selalu berada pada jalur lintasan yang tetap. Untuk keperluan perhitungan nilai *LRF*, pergeseran lintasan sumbu roda pesawat udara dianggap terdistribusi secara normal yang menyebar di sekitar jalur lintasan sumbu roda rata-rata yang dianggap terletak pada  $\frac{1}{2}$  jarak antara kaki roda dari sumbu perkerasan. Faktor repetisi beban (*LRF*) untuk jenis pesawat udara tertentu merupakan faktor koreksi terhadap derajat kerusakan yang ditimbulkan pada struktur perkerasan di jalur lintasan sumbu roda rata-rata

akibat terjadinya pergeseran lintasan sumbu roda tersebut. Konsekuensi dari pergeseran lintasan sumbu roda ini adalah bergesernya kurva tegangan lentur yang terjadi di dalam struktur perkerasan dan tegangan lentur pada jalur lintasan sumbu roda rata-rata yang umumnya dijadikan sebagai referensi dalam perhitungan nilai  $LRF$  juga berubah. Namun berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, menunjukkan bahwa 75% pesawat yang melintasi suatu perkerasan, berada pada jalur lintasan yang tetap (HoSang, 1975). Oleh karena itu, nilai ini akan digunakan sebagai acuan untuk menentukan besarnya  $LRF$ . Besarnya  $LRF$  dapat dihitung dengan rumus :

$$LRF = \frac{P}{N_{ijin}} \times D \quad (\text{Persamaan 5.5})$$

Dimana :

$$P = 75 \%$$

$$N_{ijin} = \text{Repetisi beban yang diijinkan (tabel 2.4)}$$

$$D = \text{Tingkat kedatangan pesawat}$$

Sehingga didapatkan nilai  $LRF$  untuk pesawat B-747 sebesar :

$$LRF = \frac{75\%}{2500} \times 63 = 0,0189$$

g. Menghitung *fatigue repetition*.

*Fatigue Repetition* didapat dengan cara mengalikan  $LRF$  yang didapat dari langkah sebelumnya dengan jumlah kedatangan pesawat (tabel 4.4), sehingga didapat hasil :

$$Fatigue\ repetition = 63 \times 0,0189 = 1,1907$$

Dari tabel 4.4 didapat jumlah kedatangan untuk pesawat tipe B-747 pada tahun 2013 sebesar 63 pesawat. Sesuai dengan teori yang disajikan berkaitan dengan perhitungan *fatigue repetition* pada bab 2, tingkat kerusakan untuk

B-747 adalah 0,0189 seperti hasil pada tahap (f). Dari hasil perhitungan ini diperoleh fatigue repetition adalah 1,1907.

- h. Menghitung kapasitas struktural. Langkah ini dimulai dengan membagi hasil *fatigue repetition* tiap pesawat dengan repetisi beban gear yang diijinkan lalu hasilnya dikalikan 100 untuk mendapat prosen.

$$\text{Kapasitas struktural} = \frac{1,1907}{2500} \times 100\% = 0,047628$$

Setelah didapat kapasitas struktural untuk semua jenis pesawat, hasil ini kemudian dijumlahkan. Apabila kapasitas struktural total menunjukkan kurang dari 100% maka tebal perkerasan rencana mampu melayani beban lalu lintas pesawat. Tabel 5.9 merupakan rekapitulasi dari metode ini.

Tabel 5.9. Rekapitulasi Metode *Fatigue Repetition*

JENIS PESAWAT	ANNUAL DEPARTURE	GEAR TYPE	NO. OF GEAR	MTOW (lb)	GEAR LOADS (lb)	TEBAL RENCANA (cm)	K (PCI)	FLEXURAL STRESS (PSI)	FLEXURAL STRENGTH (PSI)	STRESS RATIO	LRF	FATIGUE REPETITION	REPETISI BEBAN GEAR YANG DILJINKAN (lb)	KAPASITAS STRUKTURAL (%)
A-320	8986	dual wheel	2	169754	80634	33.5	300	340	640.05	0.53	0.028081	252.3381125	240000	0.10514088
A-330	551	dual tandem	2	507058	240853	33.5	300	400	640.05	0.62	0.022958	12.65004167	18000	0.070278009
A-332	58	dual tandem	2	507058	240853	33.5	300	400	640.05	0.62	0.002417	0.140166667	18000	0.000778704
A-333	210	dual tandem	2	507058	240853	33.5	300	400	640.05	0.62	0.00875	1.8375	18000	0.010208333
ATR-72	3811	dual wheel	2	47408	22519	33.5	300	200	640.05	0.31	0	0	0	0
B-732	526	dual wheel	1	115500	109725	33.5	300	265	640.05	0.41	0	0	0	0
B-733	1510	dual wheel	1	124495	118271	33.5	300	308	640.05	0.48	0	0	0	0
B-734	1192	dual wheel	1	138494	131570	33.5	300	335	640.05	0.52	0.00298	3.55216	300000	0.001184053
B-735	2243	dual wheel	1	115500	109725	33.5	300	285	640.05	0.45	0	0	0	0
B-737	1070	dual wheel	1	146210	138900	33.5	300	342	640.05	0.53	0.003344	3.5778125	240000	0.001490755
B-738	6005	dual wheel	1	155491	147717	33.5	300	360	640.05	0.56	0.045038	270.4501875	100000	0.270450188
B-739	9521	dual wheel	1	174197	165488	33.5	300	390	640.05	0.61	0.297531	2832.795031	24000	11.80331263
B-747	63	double dual tandem	1	875000	831250	33.5	300	442	640.05	0.69	0.0189	1.1907	2500	0.047628
B-773	45	tridem	1	632500	600875	33.5	300	430	640.05	0.67	0.0075	0.3375	4500	0.0075
B-777	35	tridem	1	535000	508250	33.5	300	368	640.05	0.57	0.00035	0.01225	75000	1.63333E-05
CRJ	1345	dual wheel	2	90000	42750	33.5	300	293	640.05	0.46	0	0	0	0
MA-60	229	dual wheel	2	48060	22829	33.5	300	200	640.05	0.31	0	0	0	0
MD-82	330	dual wheel	1	149500	142025	33.5	300	360	640.05	0.56	0.002475	0.81675	100000	0.00081675
													<b>TOTAL</b>	<b>12.31880464</b>

Kapasitas struktural total <100%, maka perkerasan mampu melayani beban lalu lintas pesawat.

### 3. Perhitungan Tulangan

Perhitungan penulangan pada subbab ini merupakan konsep dasar dalam perhitungan kebutuhan tulangan pada perkerasan apron, sehingga untuk hasil dari perhitungan ini perlu dilakukan analisa lebih jika akan digunakan di lapangan karena kondisi riil penulangan di lapangan lebih kompleks sesuai dengan karakter beban.

Direncanakan :

$$\text{Panjang x Lebar slab beton (L)} = 7,5 \times 7,5 \text{ m}$$

$$\text{Tebal slab beton (t)} = 33,5 \text{ cm} = 335 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak joint construction} = 17,5 \text{ ft}$$

$$\text{Tegangan tarik ijin (fs)} = 3900 \text{ kg/cm}^2$$

Tabel 5.10. Jarak *Construction Joint* Longitudinal dan Transversal

Tebal Slab		Joint Spacing (Maximum)	
In	mm	ft	m
8,0-10	203-254	12,5	3,8
10,5-13	267-330	15	4,6
13,5-16	343-406	17,5	5,3
>16	>406	20	6,1

Sumber : FAA (2010)

$$A_s = \frac{0,64 \times L \sqrt{L t}}{f_s} = \frac{0,64 \times 750 \sqrt{750 \times 335}}{3900} = 60,76436 \text{ cm}^2$$

$$= 6076,436 \text{ mm}^2$$

Direncanakan tulangan diameter  $D = 13 \text{ mm}$

$$A_{tul} = \frac{1}{4} \pi d^2 = 132,665 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah Tulangan} = \frac{6076,436}{132,665} = 46 \text{ buah}$$

$$\text{Jarak Tulangan} = \frac{7500}{46} = 164 \text{ mm}$$

Maka dapat disimpulkan bahwa perkerasan apron menggunakan tebal slab beton 33,5 cm = 13,2 inch dengan tulangan D13-100. Sebagai penyambung antara slab beton, berdasarkan tabel 5.11 dibutuhkan dowel untuk tebal slab beton sebesar 13,2 inch digunakan dowel dengan dengan diameter 30 mm, panjang 510 mm, dan spasi ke arah longitudinal dan transversal sebesar 380 mm.

Tabel 5.11. Ketentuan Dimensi dan Spasi Dowel

Tebal Slab Beton	Diameter	Panjang	Spasi
6-7 in (150-180 mm)	$\frac{3}{4}$ in (20 mm)	18 in (460 mm)	12 in (305 mm)
8-12 in (210-305 mm)	1 in (25 mm)	19 in (480 mm)	12 in (305 mm)
13-16 in (330-405 mm)	$1\frac{1}{4}$ in (30 mm)	20 in (510 mm)	15 in (380 mm)
17-20 in (430-510 mm)	$1\frac{1}{2}$ in (40 mm)	20 in (510 mm)	18 in (460 mm)
21-24 in (535-610 mm)	2 in (50 mm)	24 in (610 mm)	18 in (460 mm)

Sumber : Basuki, (1985)

### 5.2.3 Metode LCN

LCN (*Load Classification Number*) adalah nilai yang menunjukkan beban tertentu dari pesawat yang harus dipikul suatu sistem perkerasan bandara. LCN merupakan angka yang menunjukkan kekuatan dukung tanah dasar bandar udara terhadap pesawat yang boleh beroperasi di bandara tersebut. Maka bila angka LCN perkerasan lapangan terbang lebih besar daripada LCN pesawat, maka dapat disimpulkan pesawat dapat mendarat di lapangan terbang tersebut dengan selamat. Angka ini dipengaruhi geometri roda pendaratan, tekanan ban, serta komposisi perkerasan. Frekuensi gerakan pesawat tidak menjadi bahan pertimbangan dalam metode ini. Bagan alir perhitungan dapat dilihat pada gambar 3.4.

## 1. Mengumpulkan Data Karakteristik Pesawat dan Data Perkerasan Struktur

Dalam perencanaan dengan menggunakan metode ini digunakan data perkerasan struktur sesuai dengan kondisi riil bandara Juanda, yaitu  $K=300$  pci dan *flexural strength* beton sebesar 640,5 psi. Untuk data karakteristik pesawat disesuaikan dengan buku manual tiap jenis pesawat. Namun untuk beberapa jenis pesawat tidak ditemukan buku manualnya, seperti ATR-72, CRJ dan MA-60. Oleh karena itu pengaruh ketiga jenis pesawat tersebut, tidak diperhitungkan dalam tugas akhir ini.

## 2. Menentukan Gear Loads

Untuk merencanakan kekuatan landasan, dianggap bahwa 5% beban diberikan kepada nose gear sedangkan yang 95% dibebankan kepada main gear. Apabila ada dua main gear, maka masing-masing gear menahan 47,5% beban pesawat. Digunakan sebagai contoh perhitungan pesawat tipe B-773, dengan MTOW 632.500 lbs dengan konfigurasi dual tridem, sehingga didapat nilai gear loads :

$$\text{Gear Loads} = 95\% \times \frac{632.500}{2} = 300.438 \text{ lbs}$$

## 3. Menentukan Kontak Area Ban

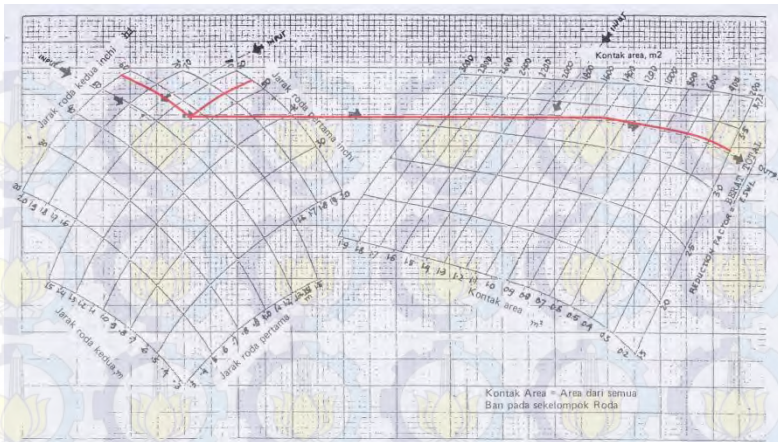
Kontak area ban dapat dihitung dengan cara membagi gear loads dengan besarnya tekanan ban tipe pesawat tertentu. Dari perhitungan sebelumnya didapat gear loads sebesar 300.438 lbs. Tekanan roda B-773 sebesar 215 psi, sehingga didapat :

$$A = \frac{300.438}{215} = 1397,386 \text{ inch}^2$$

## 4. Menentukan Nilai RF (*Reduction Factor*)

Nilai RF ditentukan berdasarkan hasil yang diperoleh dari langkah sebelumnya kemudian diplotkan ke dalam grafik penentuan RF. Gambar 5.9 menunjukkan besarnya nilai RF untuk pesawat tipe B-773 sebesar 3,3.





Gambar 5.9. Penentuan Nilai RF

### 5. Menentukan Nilai ESWL

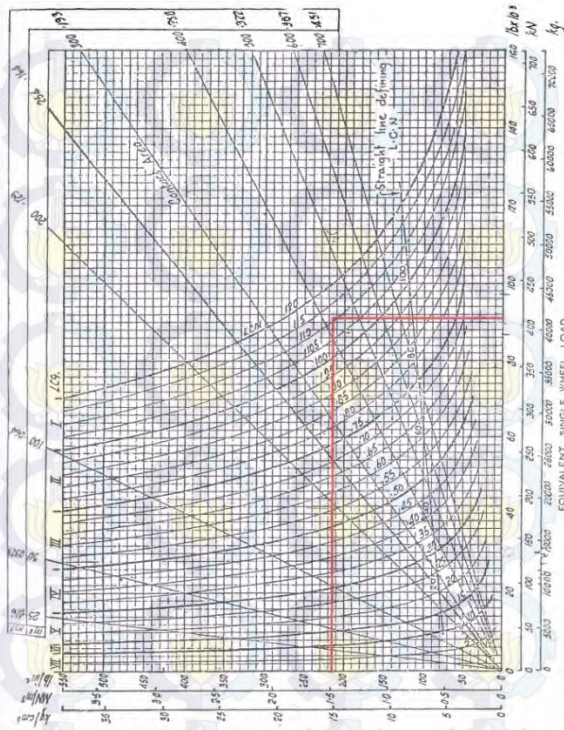
ESWL adalah nilai yang menunjukkan beban roda tunggal yang akan menghasilkan respon dari struktur perkerasan pada satu titik tertentu di dalam struktur perkerasan, dimana besarnya sama dengan beban yang dipikul pada titik roda pendaratan. Setelah didapat nilai RF pesawat B-773 dari langkah sebelumnya, lalu dihitung *Equivalent Single Wheel Load* (ESWL) pesawat menggunakan rumus :

$$ESWL = \frac{\text{Beban total pada main gear}}{\text{Reduction Factor}}$$

$$ESWL = \frac{300.438}{3,3} = 91.041,82 \text{ lbs}$$

### 6. Menentukan LCN (*Load Classification Number*)

Untuk mendapatkan nilai LCN suatu pesawat yaitu dengan menghubungkan nilai ESWL dan tekanan roda pesawat lalu memplotkannya ke dalam grafik LCN seperti yang ditunjukkan gambar 5.10. Melanjutkan hasil dari langkah sebelumnya digunakan pesawat tipe B-773. Pesawat ini memiliki LCN sebesar 112.



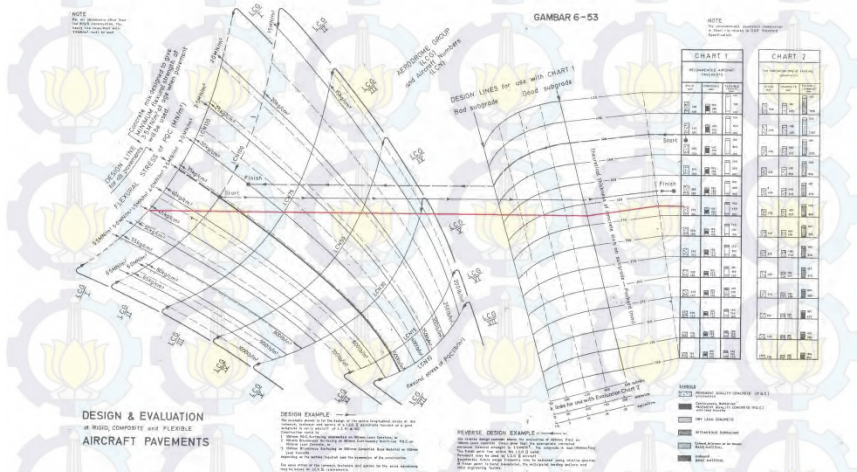
Gambar 5.10. Menentukan Nilai LCN Pesawat

## 7. Menentukan LCG (*Load Classification Group*) dan Tebal Perkerasan

Perkembangan terakhir, LCN pesawat dibagi dalam kelompok-kelompok grup. Hal ini disebabkan sejumlah variabel yang mempengaruhi ketelitian pada waktu merencanakan perkerasan tidak diperlukan. Maka klasifikasi perkerasan dan evaluasi pesawat disederhanakan menjadi LCG. Pengelompokan pesawat dalam grup-grup, dipilih di antara pesawat-pesawat yang secara garis besar menghasilkan tegangan yang sama pada perkerasan. Pembagian LCG ditunjukkan pada tabel 2.5. Untuk pesawat B-773 tergolong dalam grup 1.

### 8. Menentukan Tebal Perkerasan

Dalam penentuan tebal perkerasan, digunakan batas teratas LCG terpilih, lalu memplotkannya ke dalam grafik seperti yang ditunjukkan gambar 5.11. Rekapitulasi untuk semua jenis pesawat disajikan dalam tabel 5.12.



Gambar 5.11. Menentukan Tebal Perkerasan

Tabel 5.12. Rekapitulasi Metode LCN

JENIS PESAWAT	GEAR TYPE	NO. OF GEAR	MTOW (lb)	FLEXURAL STRENGTH (PSI)	JARAK RODA		TEKANAN RODA (PSI)	GEAR LOADS (lb)	KONTAK AREA BAN (inch <sup>2</sup> )	RF	ESWL	LCN	LCG	TEBAL PERKERASAN (mm)
					BASE	TRACK								
A-320	dual wheel	2	169754	640.05	36.5	-	174	80634	463.4137931	1.48	54482.43	65	III	250
A-330	dual tandem	2	507058	640.05	78	55	194	240853	1241.510309	3.67	65627.52	81	II	300
A-332	dual tandem	2	507058	640.05	78	55	206	240853	1169.18932	3.7	65095.41	83	II	300
A-333	dual tandem	2	507058	640.05	78	55	194	240853	1241.510309	3.67	65627.52	81	II	300
ATR-72	dual wheel	2	47400	640.05	N/A	N/A	115	22515	195.7826087	0	0	0	0	0
B-732	dual wheel	2	115500	640.05	30.5	-	166	54863	330.5	1.43	38365.73	48	IV	200
B-733	dual wheel	2	124495	640.05	30.5	-	180	59136	328.5333333	1.43	41353.85	51	III	250
B-734	dual wheel	2	138494	640.05	30.5	-	203	65785	324.0640394	1.44	45684.03	60	III	250
B-735	dual wheel	2	115500	640.05	30.5	-	170	54863	322.7235294	1.45	37836.55	47	IV	200
B-737	dual wheel	2	146210	640.05	34	-	201	69450	345.5223881	1.51	45993.38	61	III	250
B-738	dual wheel	2	155491	640.05	34	-	204	73859	362.0539216	1.5	49239.33	64	III	250
B-739	dual wheel	2	174197	640.05	34	-	205	82744	403.6292683	1.48	55908.11	72	III	250
B-747	double dual tandem	4	875000	640.05	58	44	200	207813	1039.065	2.8	74218.93	85	II	300
B-773	tridem	2	632500	640.05	57	55	215	300438	1397.386047	3.3	91041.82	112	I	325
B-777	tridem	2	535000	640.05	57	55	185	254125	1373.648649	3.35	75858.21	91	II	300
CRJ	dual wheel	2	90000	640.05	N/A	N/A	180	42750	237.5	0	0	0	0	0
MA-60	dual wheel	2	48060	640.05	N/A	N/A	120	22829	190.2416667	0	0	0	0	0
MD-82	dual wheel	2	149500	640.05	28.125	-	184	71013	385.9402174	1.41	50363.83	63	III	250

Dipakai hasil yang paling besar, yaitu 32,5 cm.

## 9. Perhitungan Penulangan

Perhitungan penulangan pada subbab ini merupakan konsep dasar dalam perhitungan kebutuhan tulangan pada perkerasan apron, sehingga untuk hasil dari perhitungan ini perlu dilakukan analisa lebih jika akan digunakan di lapangan karena kondisi riil penulangan di lapangan lebih kompleks sesuai dengan karakter beban.

Direncanakan :

$$\text{Panjang x Lebar slab beton (L)} = 7,5 \times 7,5 \text{ m}$$

$$\text{Tebal slab beton (t)} = 32,5 \text{ cm} = 325 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak joint construction} = 17,5 \text{ ft}$$

$$\text{Tegangan tarik ijin (fs)} = 3900 \text{ kg/cm}^2$$

Tabel 5.13. Jarak *Construction Joint* Longitudinal dan Transversal

Tebal Slab		Joint Spacing (Maximum)	
In	mm	ft	m
8,0-10	203-254	12,5	3,8
10,5-13	267-330	15	4,6
13,5-16	343-406	17,5	5,3
>16	>406	20	6,1

Sumber : FAA (2010)

$$A_s = \frac{0,64 \times L \sqrt{L t}}{f_s} = \frac{0,64 \times 750 \sqrt{750 \times 325}}{3900} = 61,69212 \text{ cm}^2$$

$$= 6169,212 \text{ mm}^2$$

Direncanakan tulangan diameter  $D = 13 \text{ mm}$

$$A_{tul} = \frac{1}{4} \pi d^2 = 132,665 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah Tulangan} = \frac{6169,212}{132,665} = 47 \text{ buah}$$

$$\text{Jarak Tulangan} = \frac{7500}{47} = 160 \text{ mm}$$

Maka dapat disimpulkan bahwa perkerasan apron menggunakan tebal slab beton 32,5 cm = 12,8 inch dengan tulangan D13-100. Sebagai penyambung antara slab beton, berdasarkan tabel 5.14 dibutuhkan dowel untuk tebal slab beton sebesar 12,8 inch digunakan dowel dengan dengan diameter 30 mm, panjang 510 mm, dan spasi ke arah longitudinal dan transversal sebesar 380 mm.

Tabel 5.14. Ketentuan Dimensi dan Spasi Dowel

Tebal Slab Beton	Diameter	Panjang	Spasi
6-7 in (150-180 mm)	$\frac{3}{4}$ in (20 mm)	18 in (460 mm)	12 in (305 mm)
8-12 in (210-305 mm)	1 in (25 mm)	19 in (480 mm)	12 in (305 mm)
13-16 in (330-405 mm)	$1\frac{1}{4}$ in (30 mm)	20 in (510 mm)	15 in (380 mm)
17-20 in (430-510 mm)	$1\frac{1}{2}$ in (40 mm)	20 in (510 mm)	18 in (460 mm)
21-24 in (535-610 mm)	2 in (50 mm)	24 in (610 mm)	18 in (460 mm)

Sumber : Basuki, (1985)

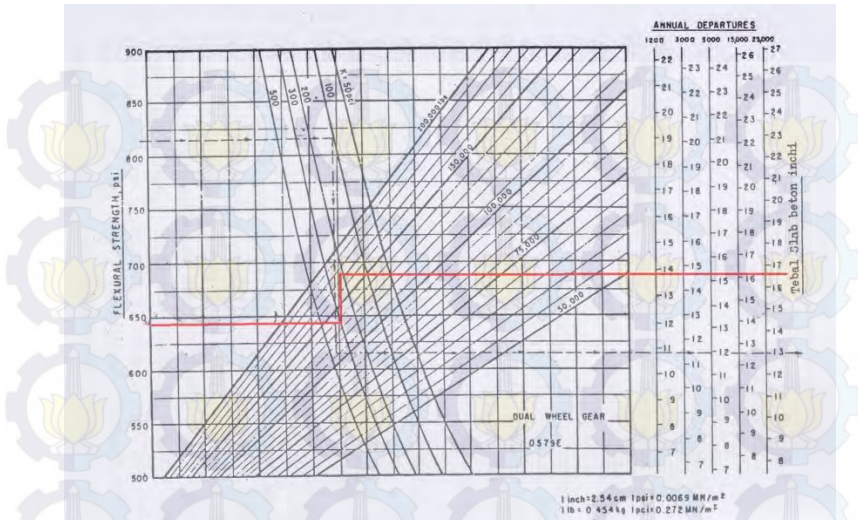
### 5.3 Evaluasi Kekuatan Perkerasan Apron Terhadap Beban Pesawat Tahun 2022

Evaluasi pada tugas akhir ini dilakukan dengan cara membandingkan kondisi ketebalan eksisting dengan ketebalan perkerasan yang didapat dengan cara menghitung ketebalan dengan menggunakan ketiga metode. Semua data perkerasan dan ketentuan teknis desain disesuaikan dengan data yang didapat sebelumnya, tetapi untuk data kedatangan pesawat menggunakan data pergerakan hasil *forecasting* yang telah dilakukan.

Langkah perhitungan sama seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, oleh karena itu tidak dijelaskan lagi pada subbab ini. Tabel 5.14, tabel 5.15, tabel 5.16 dan tabel 5.17, merupakan rekapitulasi dari hasil perhitungan dengan ketiga metode.

Tabel 5.15. Rekapitulasi Perhitungan Metode FAA

JENIS PESAWAT	ANNUAL DEPARTURE	GEAR TYPE	NO. OF WHEEL	MTOW (lb)	CONVERSION	Eq.DUAL WHEEL DEPARTURE	WHEEL LOADS (lb)	WHEEL LOAD EFFECTIVE (lb)	Eq.ANNUAL DEPARTURE (R1)
A-320	1614	dual wheel	4	169754	1	1614	40317	41372	1469
ATR-72	2275	dual wheel	4	47400	1	2275	11258	41372	57
B-733	1505	dual wheel	4	124495	1	1505	29568	41372	486
B-734	365	dual wheel	4	138494	1	365	32893	41372	193
B-735	1131	dual wheel	4	115500	1	1131	27432	41372	307
B-738	2375	dual wheel	4	155491	1	2375	36930	41372	1547
B-739	12084	dual wheel	4	174197	1	12084	41372	41372	12084
<b>Jumlah</b>								<b>16143</b>	



Gambar 5.12. Perhitungan Tebal Slab Beton Metode FAA

Nilai annual departure didapat 16.143 pergerakan, maka digunakan tebal slab dengan asumsi annual departures 25.000 pergerakan, sehingga tebal slab beton adalah 16,5 inchi  $\approx$  41,91 cm.



Tabel 5.16. Rekapitulasi Perhitungan Metode PCA (Faktor Keamanan)

JENIS PESAWAT	GEAR TYPE	NO. OF GEAR	MTOW (lb)	WHEEL LOADS (lb)	MR <sub>90</sub> BETON (PSI)	FK	WORKING STRESS (PSI)	K (PCI)	TEBAL PERKERASAN (INCH)
A-320	dual wheel	2	169754	80634	704.8834	1.7	414.6372941	300	11.5
ATR-72	dual wheel	2	47408	22519	704.8834	1.7	414.6372941	300	6
B-733	dual wheel	2	124495	59136	704.8834	1.7	414.6372941	300	10.43
B-734	dual wheel	2	138494	65785	704.8834	1.7	414.6372941	300	11.2
B-735	dual wheel	2	115500	54863	704.8834	1.7	414.6372941	300	9.9
B-738	dual wheel	2	155491	73859	704.8834	1.7	414.6372941	300	11.6
B-739	dual wheel	2	174197	82744	704.8834	1.7	414.6372941	300	12.43

Tebal yang dipakai.

Tabel 5.17. Rekapitulasi Perhitungan Metode PCA (*Fatigue Repetition*)

JENIS PESAWAT	ANNUAL DEPARTURE	GEAR TYPE	NO. OF GEAR	MTOW (lb)	GEAR LOADS (lb)	TEBAL RENCANA (cm)	K (PCI)	FLEXURAL STRESS (PSI)	FLEXURAL STRENGTH (PSI)	STRESS RATIO
A-320	1614	dual wheel	2	169754	80634	45	300	300	640.05	0.47
ATR-72	2275	dual wheel	2	47408	22519	45	300	200	640.05	0.31
B-733	1505	dual wheel	2	124495	59136	45	300	200	640.05	0.31
B-734	365	dual wheel	2	138494	65785	45	300	200	640.05	0.31
B-735	1131	dual wheel	2	115500	54863	45	300	200	640.05	0.31
B-738	2375	dual wheel	2	155491	73859	45	300	220	640.05	0.34
B-739	12084	dual wheel	2	174197	82744	45	300	240	640.05	0.37

*Stress Ratio* menunjukkan  $< 51\%$ , maka perkerasan mampu menerima beban repetisi sampai pengulangan yang tak terhingga.

Tabel 5.18. Rekapitulasi Perhitungan Metode LCN

JENIS PESAWAT	GEAR TYPE	NO. OF GEAR	MTOW (lb)	FLEXURAL STRENGTH (PSI)	JARAK RODA (INCH)	TEKANAN RODA (PSI)	GEAR LOADS (lb)	KONTAK AREA BAN (inch <sup>2</sup> )	RF	ESWL	LCN	LCG	TEBAL (mm)
A-320	dual wheel	2	169754	640.05	36.5	174	80634	463.4137931	1.48	54482.43	65	III	250
ATR-72	dual wheel	2	47400	640.05	N/A	115	22515	195.7826087	0	0	0	0	0
B-733	dual wheel	2	124495	640.05	30.5	180	59136	328.5333333	1.43	41353.85	51	III	250
B-734	dual wheel	2	138494	640.05	30.5	203	65785	324.0640394	1.44	45684.03	60	III	250
B-735	dual wheel	2	115500	640.05	30.5	170	54863	322.7235294	1.45	37836.55	47	IV	200
B-738	dual wheel	2	155491	640.05	34	204	73859	362.0539216	1.5	49239.33	64	III	250
B-739	dual wheel	2	174197	640.05	34	205	82744	403.6292683	1.48	55908.11	72	III	250

Hasil yang diperoleh dari ketiga metode ini menunjukkan tebal yang dibutuhkan  $< 45$  cm, oleh karena itu tebal perkerasan eksisting masih mampu melayani lalu lintas pesawat pada tahun 2022.

#### **5.4 Diskusi Perbedaan Hasil Perhitungan Perkerasan Dengan Tugas Akhir Terdahulu**

Dari Tugas Akhir sebelumnya diperoleh ketebalan slab beton 43 cm. Hasil ini diperoleh dari perhitungan ketebalan apron pada 42,5 cm. Nilai ini diperoleh dari memperkirakan jenis pesawat yang beroperasi yaitu jenis B-747 pada tahun 2022. Ketebalan yang diperoleh juga dipengaruhi oleh nilai *flexural strength* beton sebesar  $45 \text{ kg/cm}^2 \approx 640,05 \text{ psi}$ .

Dalam tugas akhir ini ketebalan yang diperoleh (45 cm) berbeda dari Tugas Akhir Arisandi karena nilai *flexural strength* yang berbeda dan jenis pesawat yang digunakan juga berbeda. Perbedaan penggunaan jenis pesawat ini dikarenakan adanya pemisahan terminal domestik dan internasional. Ketebalan yang diperoleh ini masih mampu mendukung B-747 dengan ditunjukkann nilai kapasitas struktural yang menunjukkan nilai 0,0756 yang artinya perkerasan tidak mengalami kerusakan ketika melayani beban lalu lintas pesawat dengan tipe tersebut.

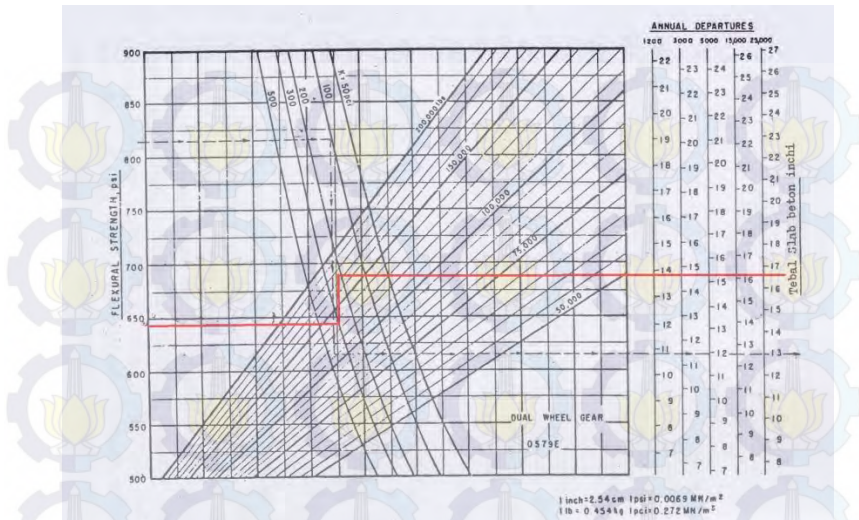
## 5.5 Evaluasi Kekuatan Perkerasan Apron Terhadap Beban Pesawat Tahun 2026

Evaluasi pada subbab ini dilakukan dengan cara membandingkan kondisi ketebalan eksisting dengan ketebalan perkerasan yang didapat dengan menghitung ketebalan menggunakan ketiga metode. Semua data perkerasan dan ketentuan teknis desain disesuaikan dengan data yang didapat sebelumnya, tetapi untuk data kedatangan pesawat menggunakan data pergerakan hasil *forecasting* yang telah dilakukan.

Langkah-langkah perhitungan sama seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, oleh karena itu tidak dijelaskan lagi pada subbab ini. Tabel 5.18, tabel 5.19, tabel 5.20, dan tabel 5.21, merupakan rekapitulasi dari hasil perhitungan dengan ketiga metode.

Tabel 5.19. Rekapitulasi Perhitungan Metode FAA

JENIS PESAWAT	ANNUAL DEPARTURE	GEAR TYPE	NO. OF WHEEL	MTOW (lb)	CONVERSION	Eq.DUAL WHEEL DEPARTURE	WHEEL LOADS (lb)	WHEEL LOAD EFFECTIVE (lb)	Eq.ANNUAL DEPARTURE (R1)
A-320	933	dual wheel	4	169754	1	933	40317	41372	855
ATR-72	2170	dual wheel	4	47400	1	2170	11258	41372	56
B-733	1418	dual wheel	4	124495	1	1418	29568	41372	462
B-734	255	dual wheel	4	138494	1	255	32893	41372	140
B-735	848	dual wheel	4	115500	1	848	27432	41372	243
B-738	2076	dual wheel	4	155491	1	2076	36930	41372	1362
B-739	13604	dual wheel	4	174197	1	13604	41372	41372	13604
								<b>Jumlah</b>	<b>16722</b>



Gambar 5.13. Perhitungan Tebal Slab Beton Metode FAA

Nilai annual departure didapat 16.143 pergerakan, maka digunakan tebal slab dengan asumsi annual departures 25.000 pergerakan, sehingga tebal slab beton adalah 16,5 inchi  $\approx$  41,91 cm.

Tabel 5.20. Rekapitulasi Perhitungan Metode PCA (Faktor Keamanan)

JENIS PESAWAT	GEAR TYPE	NO. OF GEAR	MTOW (lb)	WHEEL LOADS (lb)	MR <sub>90</sub> BETON (PSI)	FK	WORKING STRESS (PSI)	K (PCI)	TEBAL PERKERASAN (INCH)
A-320	dual wheel	2	169754	80634	704.8834	1.7	414.6372941	300	11.5
ATR-72	dual wheel	2	47408	22519	704.8834	1.7	414.6372941	300	6
B-733	dual wheel	2	124495	59136	704.8834	1.7	414.6372941	300	10.43
B-734	dual wheel	2	138494	65785	704.8834	1.7	414.6372941	300	11.2
B-735	dual wheel	2	115500	54863	704.8834	1.7	414.6372941	300	9.9
B-738	dual wheel	2	155491	73859	704.8834	1.7	414.6372941	300	11.6
B-739	dual wheel	2	174197	82744	704.8834	1.7	414.6372941	300	12.43

Tebal yang dipakai



Tabel 5.21. Rekapitulasi Perhitungan Metode PCA (*Fatigue Repetition*)

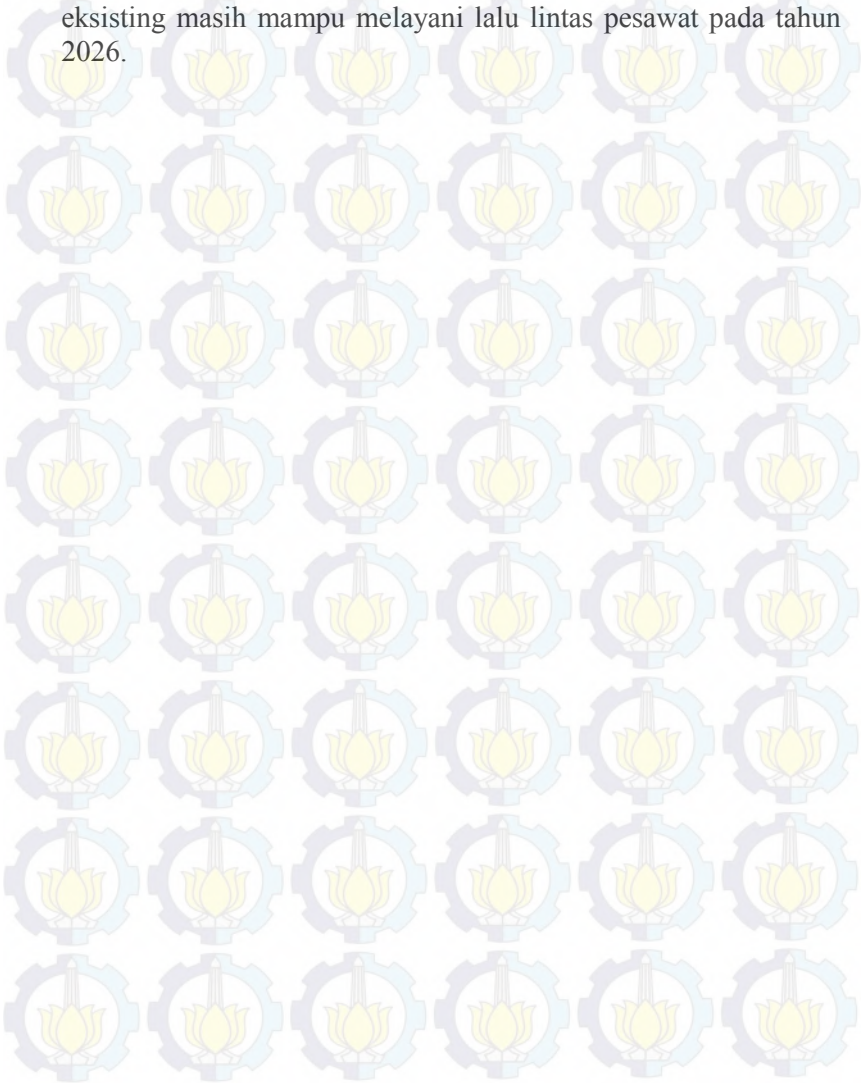
JENIS PESAWAT	ANNUAL DEPARTURE	GEAR TYPE	NO. OF GEAR	MTOW (lb)	GEAR LOADS (lb)	TEBAL RENCANA (cm)	K (PCI)	FLEXURAL STRESS (PSI)	FLEXURAL STRENGTH (PSI)	STRESS RATIO
A-320	933	dual wheel	2	169754	80634	45	300	300	640.05	0.47
ATR-72	2170	dual wheel	2	47408	22519	45	300	200	640.05	0.31
B-733	1418	dual wheel	2	124495	59136	45	300	200	640.05	0.31
B-734	255	dual wheel	2	138494	65785	45	300	200	640.05	0.31
B-735	848	dual wheel	2	115500	54863	45	300	200	640.05	0.31
B-738	2076	dual wheel	2	155491	73859	45	300	220	640.05	0.34
B-739	13604	dual wheel	2	174197	82744	45	300	240	640.05	0.37

Stress Ratio menunjukkan < 51%, maka perkerasan mampu menerima beban repetisi sampai pengulangan yang tak terhingga.

Tabel 5.22. Rekapitulasi Perhitungan Metode LCN

JENIS PESAWAT	GEAR TYPE	NO. OF GEAR	MTOW (lb)	FLEXURAL STRENGTH (PSI)	JARAK RODA (inch)	TEKANAN RODA (PSI)	GEAR LOADS (lb)	KONTAK AREA BAN (inch <sup>2</sup> )	RF	ESWL	LCN	LCG	TEBAL (mm)
A-320	dual wheel	2	169754	640.05	36.5	174	80634	463.4137931	1.48	54482.43	65	III	250
ATR-72	dual wheel	2	47400	640.05	N/A	115	22515	195.7826087	0	0	0	0	0
B-733	dual wheel	2	124495	640.05	30.5	180	59136	328.5333333	1.43	41353.85	51	III	250
B-734	dual wheel	2	138494	640.05	30.5	203	65785	324.0640394	1.44	45684.03	60	III	250
B-735	dual wheel	2	115500	640.05	30.5	170	54863	322.7235294	1.45	37836.55	47	IV	200
B-738	dual wheel	2	155491	640.05	34	204	73859	362.0539216	1.5	49239.33	64	III	250
B-739	dual wheel	2	174197	640.05	34	205	82744	403.6292683	1.48	55908.11	72	III	250

Hasil yang diperoleh dari ketiga metode ini menunjukkan tebal yang dibutuhkan  $< 45$  cm, oleh karena itu tebal perkerasan eksisting masih mampu melayani lalu lintas pesawat pada tahun 2026.





*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*

## **BAB VI PENUTUP**

### **6.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan serta mengacu pada tujuan penelitian, maka dapat disimpulkan :

1. Desain tebal struktur perkerasan kaku yang telah dilakukan melalui metode FAA, PCA, dan LCN memberikan hasil 44 cm untuk metode FAA, 33,5 cm untuk metode PCA dan 32,5 cm untuk metode LCN. Tebal perkerasan yang dihasilkan oleh ketiga metode ini menunjukkan hasil yang berbeda dengan kondisi riil di Bandara Juanda yang saat ini sebesar 45 cm.
2. Terdapat perbedaan yang signifikan pada perkerasan kaku yang dihasilkan oleh metode FAA dibandingkan dengan dua metode yang lain, sementara hasil dari metode PCA dan LCN hanya berbeda tipis, yaitu 1 cm. Perbedaan signifikan ini disebabkan oleh perbedaan asumsi yang digunakan. Metode PCA dan LCN mengasumsikan adanya pergeseran jalur lintasan sumbu roda rata-rata dari setiap jenis pesawat udara yang beroperasi sesuai dengan konfigurasi sumbu rodanya masing-masing. Sehingga, tegangan lentur maksimum di dalam struktur perkerasan yang diakibatkan oleh masing-masing jenis pesawat udara secara umum tidak selalu terjadi pada jalur yang sama. Sedangkan metode FAA, asumsi yang digunakan adalah bahwa setiap jenis pesawat udara yang beroperasi dianggap melintasi jalur lintasan sumbu roda rata-rata yang sama.
3. Berdasarkan hasil desain tebal perkerasan kaku melalui metode FAA, PCA, dan LCN dengan data pergerakan pesawat tahun 2022 dan 2026, tebal perkerasan kaku eksisting sebesar 45 cm masih mampu menerima beban lalu lintas pesawat hingga tahun 2026.

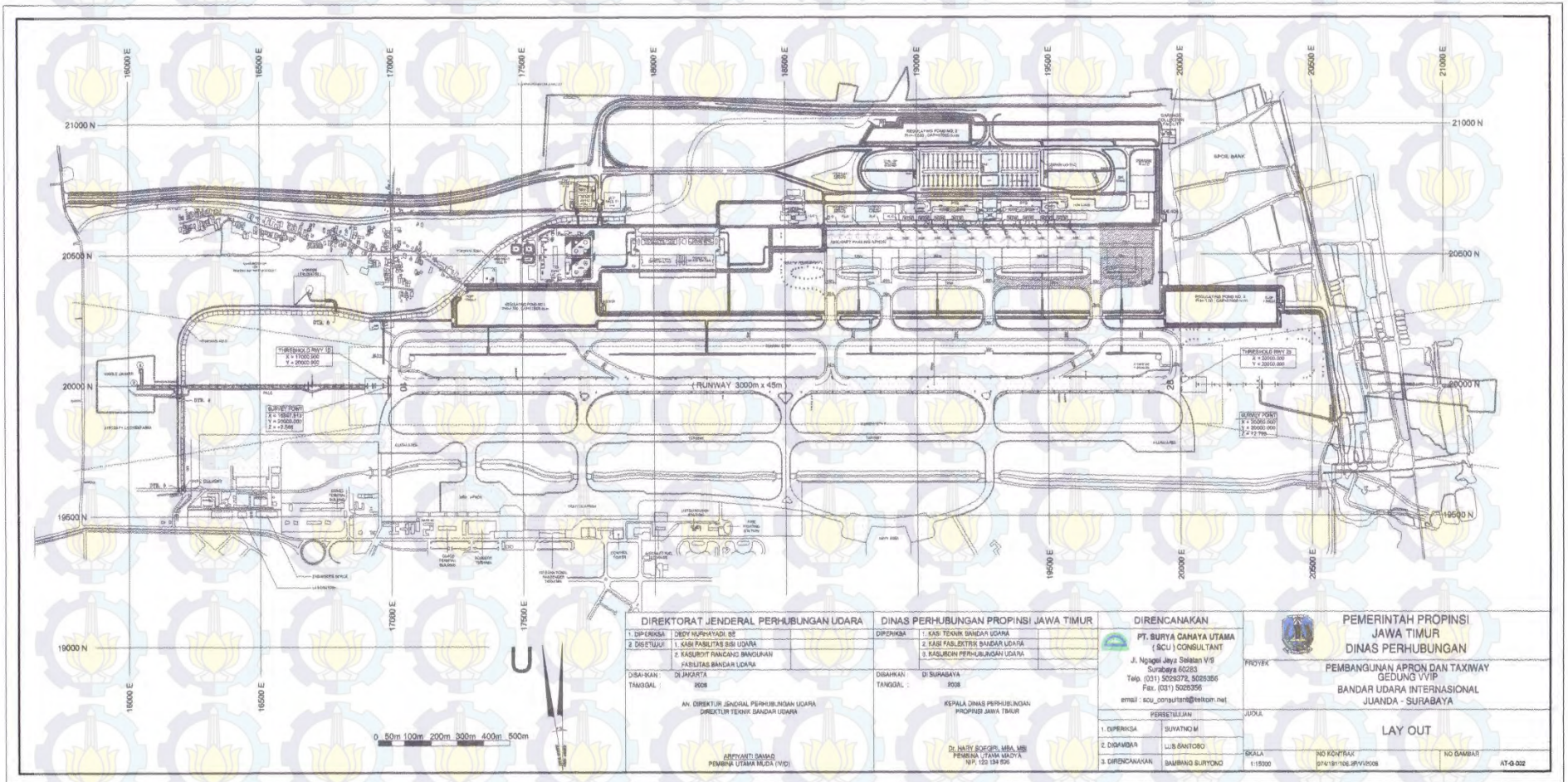
## 6.2 Saran

Dengan lebih mempertimbangkan faktor keamanan dan kemudahan dalam proses desain tebal perkerasan kaku, maka dari tugas akhir ini pemilihan metode FAA lebih direkomendasikan untuk proses desain tebal perkerasan kaku pada apron Bandara Juanda. Metode ini diasumsikan lebih bisa menerima variasi pergerakan pesawat dan juga peningkatan jumlah pesawat di masa yang akan datang.

Evaluasi ketiga metode ini mungkin bisa juga didekati dengan pemanfaatan program bantu analisis struktural. Penggunaan program bantu ini, (misal : ANSYS) diharapkan dapat lebih menunjukkan efek pendekatan analisis dari ketiga metode tersebut terhadap variasi beban yang diterima.

# LAMPIRAN

## LAMPIRAN 1 : LAYOUT TERMINAL 1 BANDARA JUANDA

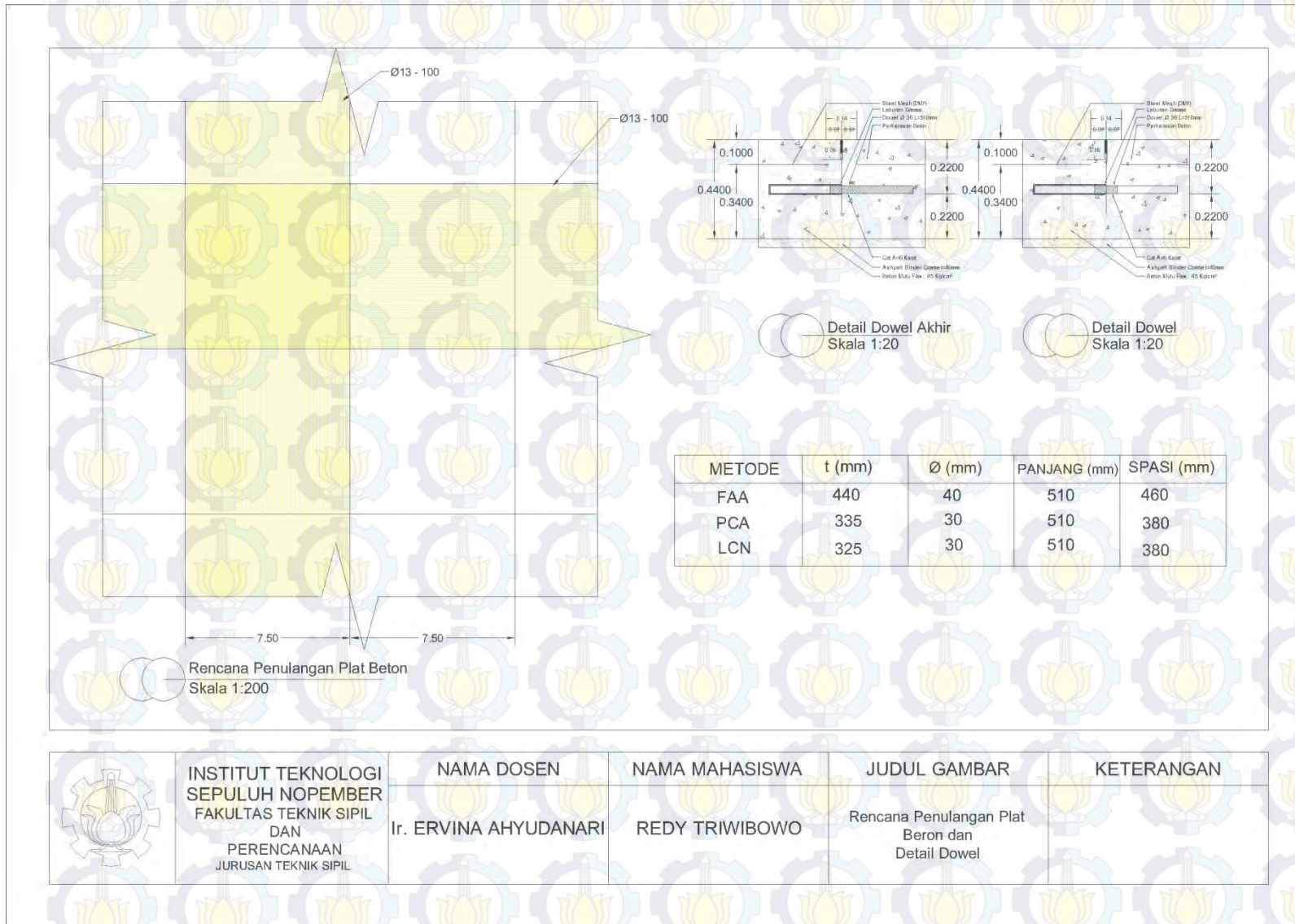


LAMPIRAN 2 : DATA TEKNIS STRUKTUR PERKERASAN

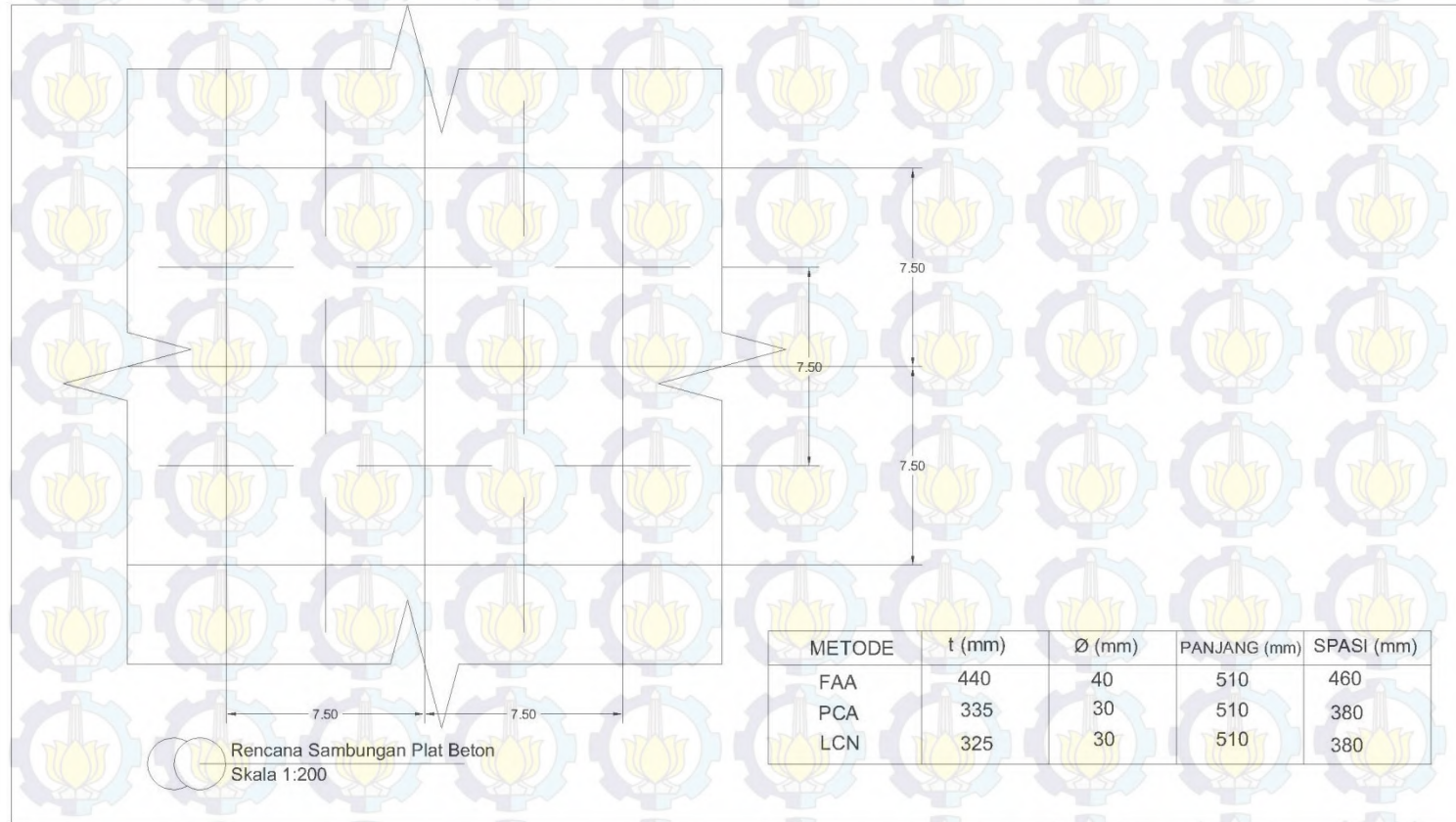





**LAMPIRAN 3 : RENCANA PENULANGAN PLAT DAN DETAIL DOWEL**

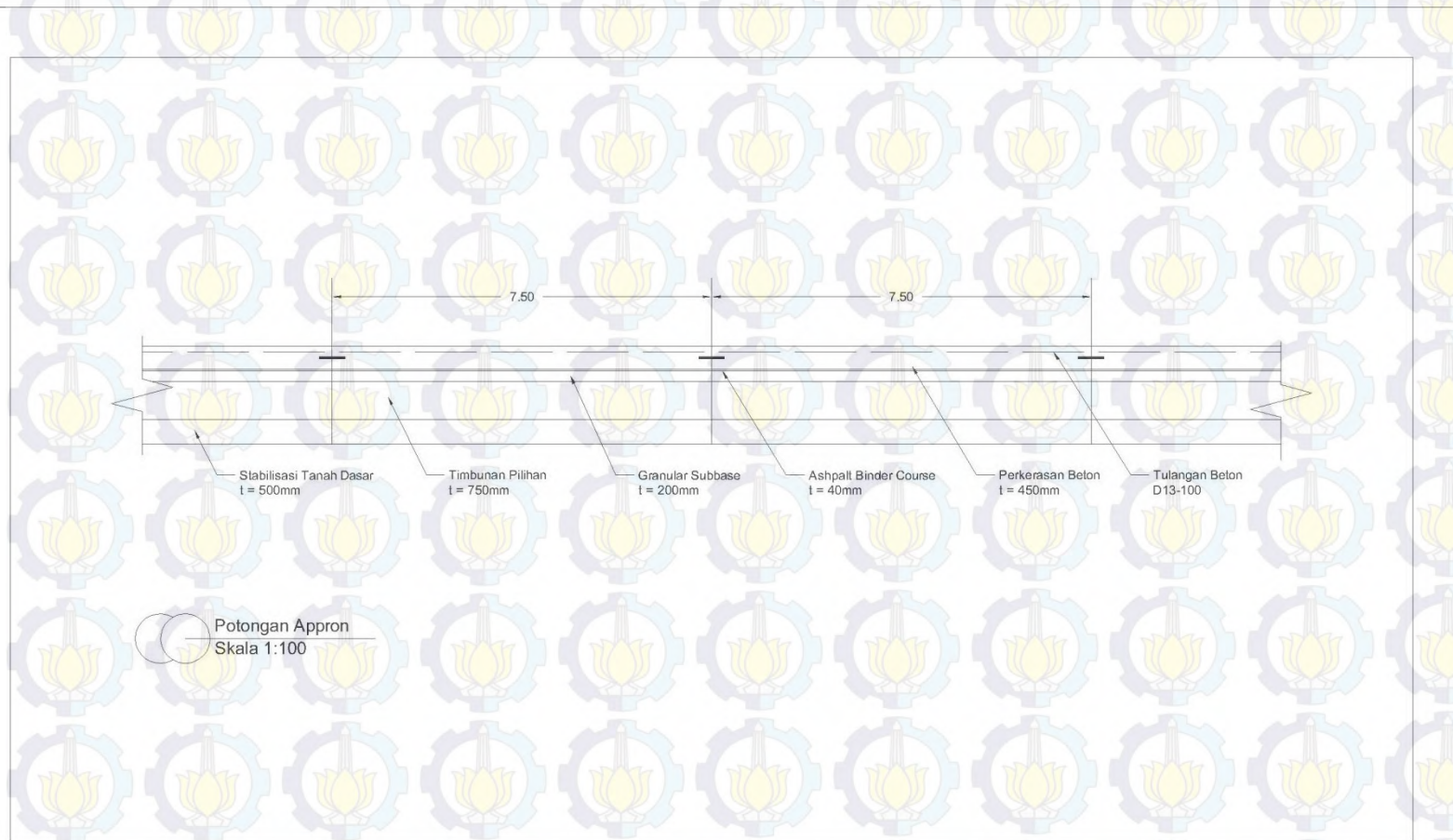


## LAMPIRAN 4 : RENCANA SAMBUNGAN PLAT BETON



	INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN JURUSAN TEKNIK SIPIL	NAMA DOSEN  Ir. ERVINA AHYUDANARI	NAMA MAHASISWA  REDY TRIWIBOWO	JUDUL GAMBAR  Rencana Plat Beton dan Rencana Sambungan Plat Beton	KETERANGAN
---	---	---	--------------------------------------	---	------------

**LAMPIRAN 5 : DETAIL PENULANGAN SLAB BETON**



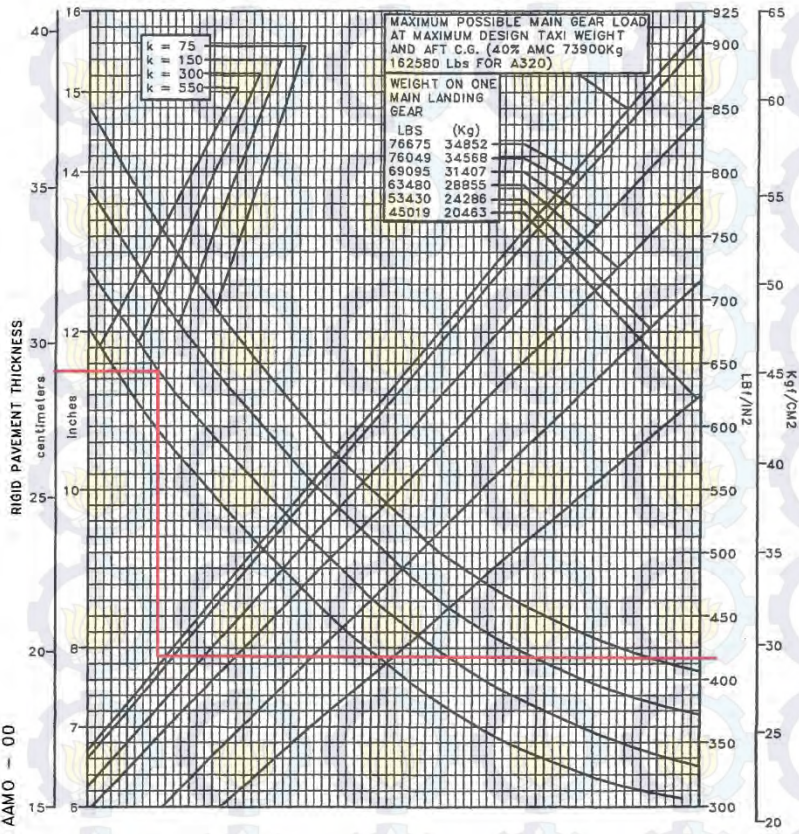
	INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN JURUSAN TEKNIK SIPIL	NAMA DOSEN  Ir. ERVINA AHYUDANARI	NAMA MAHASISWA  REDY TRIWIBOWO	JUDUL GAMBAR  Potongan Apron dan Detail Penulangan Plat	KETERANGAN
--	---	---	--------------------------------------	--	------------

LAMPIRAN 6 : KURVA PCA METODE FK TAHUN 2013

**A320**

AIRPLANE CHARACTERISTICS

NOTE : Tyre pressure Constant = 14 bar 203 lbf/in<sup>2</sup>



NOTES : THE VALUES OBTAINED BY USING THE MAXIMUM LOAD REFERENCE LINE AND ANY VALUES FOR k ARE EXACT FOR LOADS LESS THAN MAXIMUM. THE CURVES ARE EXACT FOR k=300 BUT DEVIATE SLIGHTLY FOR ANY OTHER VALUES OF k.

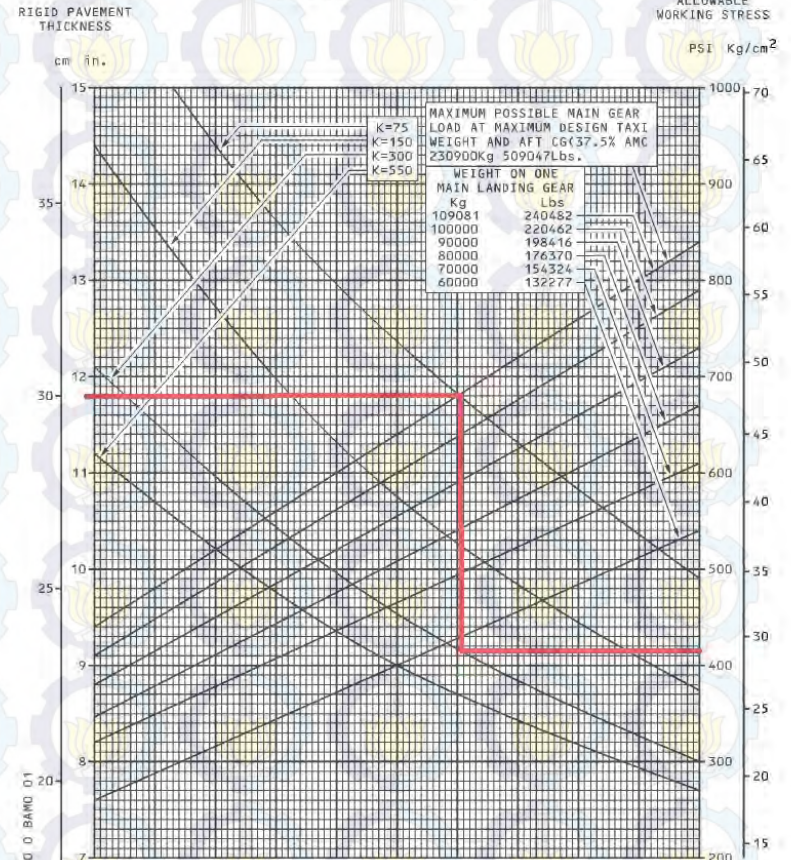
REFERENCE : "DESIGN OF CONCRETE AIRPORT PAVEMENTS" AND "COMPUTER PROGRAM FOR AIRPORT PAVEMENT DESIGN-PROGRAM PDLIB" PORTLAND CEMENT ASSOCIATION.

Rigid Pavement Requirements - Portland Cement Association (PCA)

TIPE PESAWAT A-320

**A330**

AIRPLANE CHARACTERISTICS



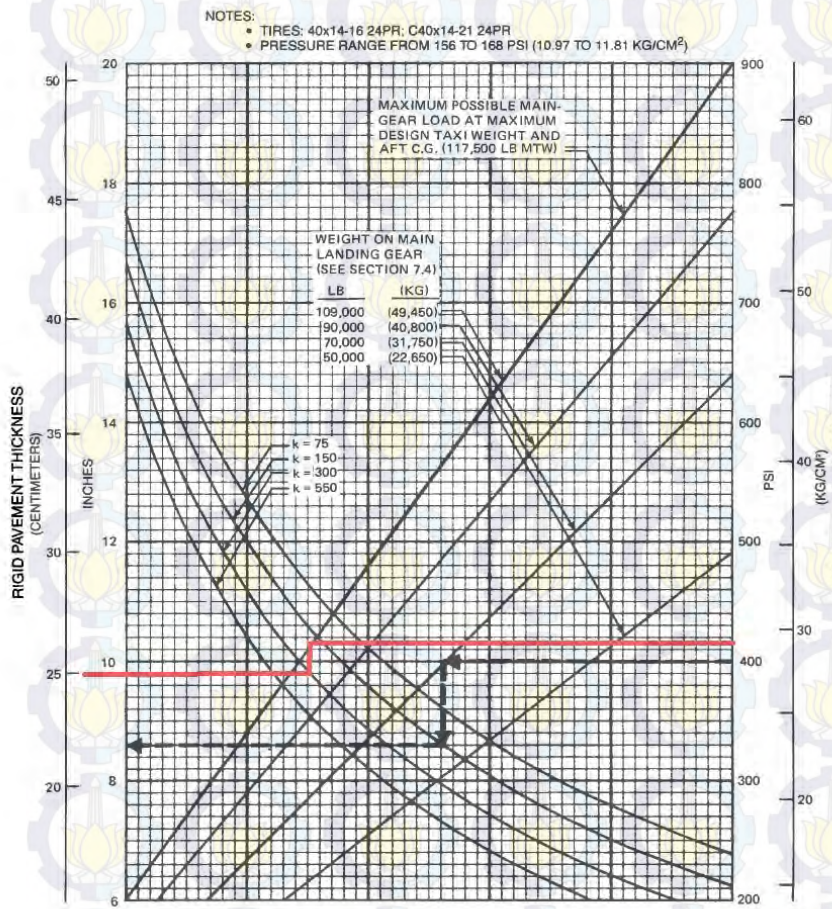
NOTES : THE VALUES OBTAINED BY USING THE MAXIMUM LOAD REFERENCE LINE AND ANY VALUES FOR k ARE EXACT FOR LOADS LESS THAN MAXIMUM. THE CURVES ARE EXACT FOR k=300 BUT DEVIATE SLIGHTLY FOR ANY OTHER VALUES OF k.

REFERENCE : "DESIGN OF CONCRETE AIRPORT PAVEMENTS" AND "COMPUTER PROGRAM FOR AIRPORT PAVEMENT DESIGN-PROGRAM PDLIB" PORTLAND CEMENT ASSOCIATION.

NOTE : TIRE PRESSURE CONSTANT AT 206PSI (14.2bar)

RIGID PAVEMENT REQUIREMENTS  
PORTLAND CEMENT ASSOCIATION  
(A330-200)

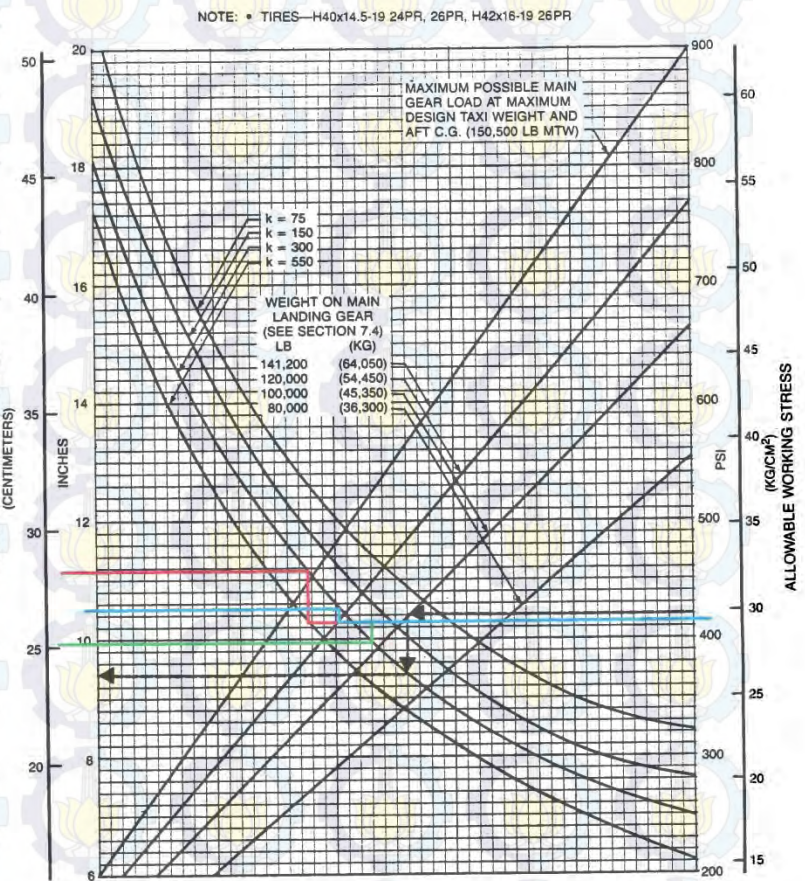
TIPE PESAWAT A-330, -200, -300



NOTE: THE VALUES OBTAINED BY USING THE MAXIMUM LOAD REFERENCE LINE AND ANY VALUE OF k ARE EXACT. FOR LOADS LESS THAN MAXIMUM, THE CURVES ARE EXACT FOR k = 300 BUT DEVIATE SLIGHTLY FOR OTHER VALUES OF k.

REFERENCE: "DESIGN OF CONCRETE AIRPORT PAVEMENT" AND "COMPUTER PROGRAM FOR AIRPORT PAVEMENT DESIGN - PROGRAM PDILB," PORTLAND CEMENT ASSOCIATION.

TIPE PESAWAT B-732



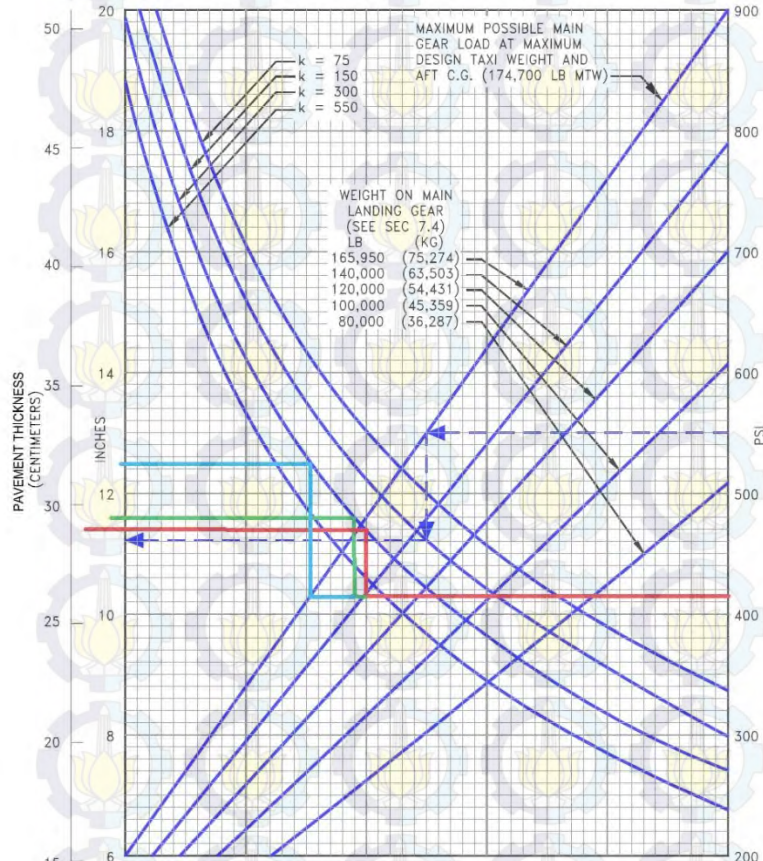
NOTE: THE VALUES OBTAINED BY USING THE MAXIMUM LOAD REFERENCE LINE AND ANY VALUE OF k ARE EXACT. FOR LOADS LESS THAN MAXIMUM, THE CURVES ARE EXACT FOR k = 300 BUT DEVIATE SLIGHTLY FOR OTHER VALUES OF k.

REFERENCES: "DESIGN OF CONCRETE AIRPORT PAVEMENT" AND "COMPUTER PROGRAM FOR AIRPORT PAVEMENT DESIGN - PROGRAM PDILB" PORTLAND CEMENT ASSN.

TIPE PESAWAT :   
— B-733   
— B-734   
— B-735

# PRELIMINARY FOR -900 WITH WINGLETS

NOTE: TIRES - H44.5 x 16.5 - 21 28PR



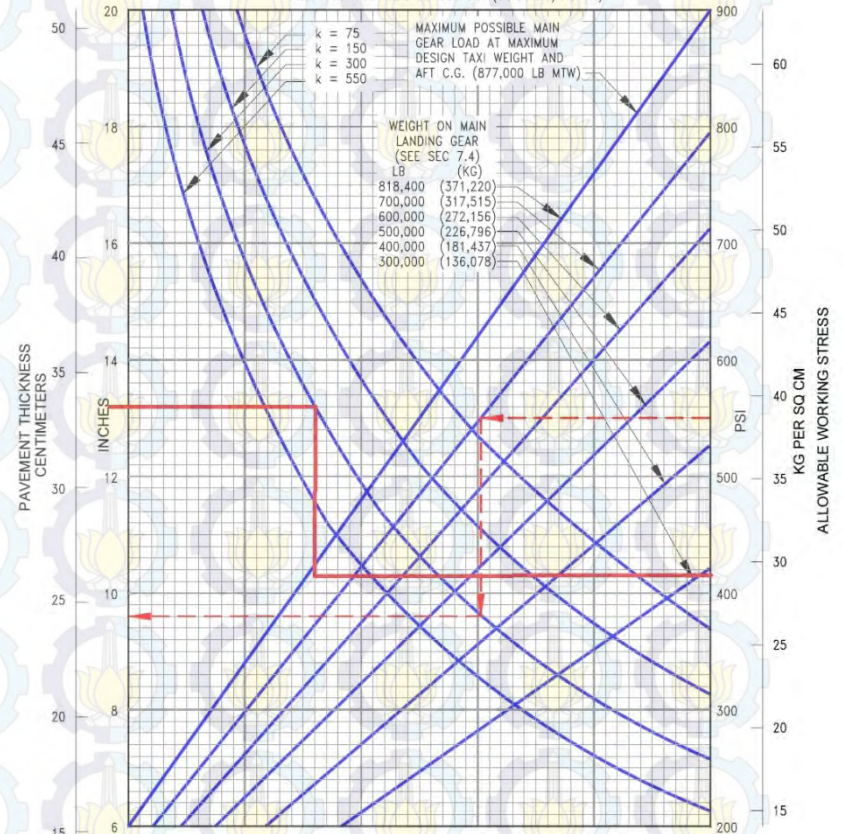
NOTE: THE VALUES OBTAINED BY USING THE MAXIMUM LOAD REFERENCE LINE AND ANY VALUE OF k ARE EXACT. FOR LOADS LESS THAN MAXIMUM, THE CURVES ARE EXACT FOR k = 300 BUT DEVIATE SLIGHTLY FOR OTHER VALUES OF k.

REFERENCES: "DESIGN OF CONCRETE AIRPORT PAVEMENT" AND "COMPUTER PROGRAM FOR AIRPORT PAVEMENT DESIGN - PROGRAM PDILB" PORTLAND CEMENT ASSOCIATION.

**TIPE PESAWAT :**

- B-737
- B-738
- B-739

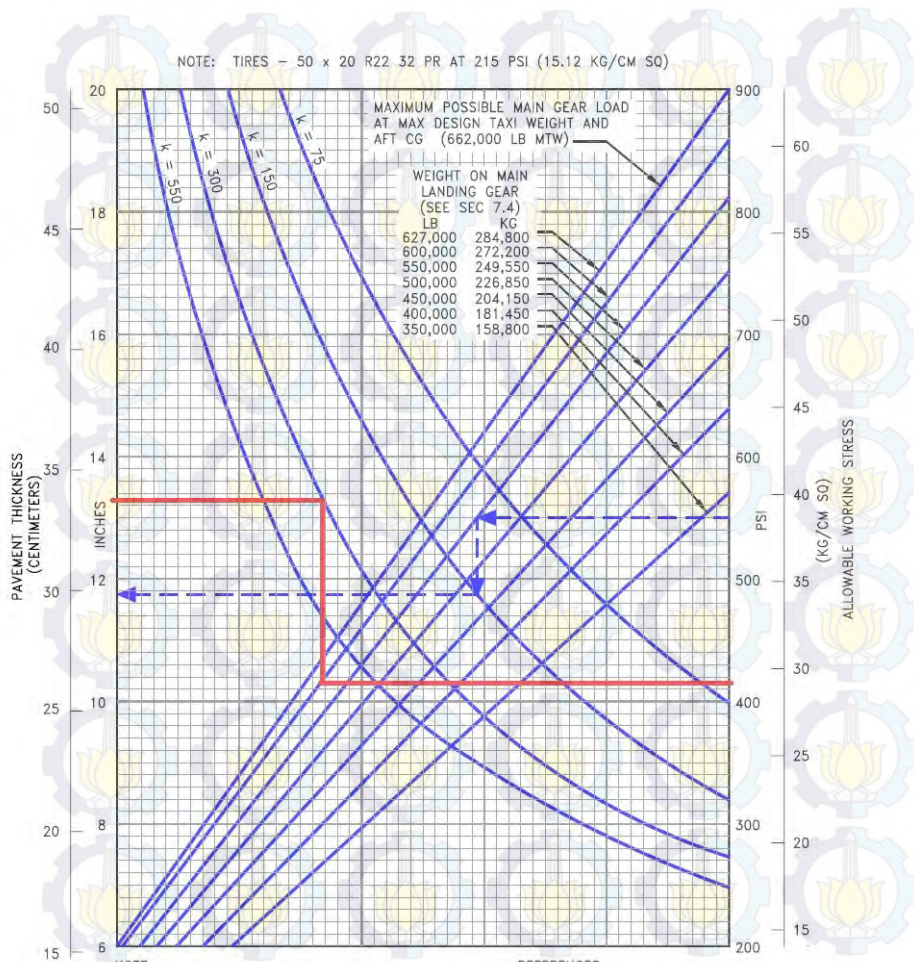
NOTE: TIRES - H42x19.0-22 24PR, 32PR  
PRESSURE CONSTANT AT 200 PSI (14.06 KG/SQ CM)



NOTE: THE VALUES OBTAINED BY USING THE MAXIMUM LOAD REFERENCE LINE AND ANY VALUE OF k ARE EXACT. FOR LOADS LESS THAN MAXIMUM, THE CURVES ARE EXACT FOR k = 300 BUT DEVIATE SLIGHTLY FOR OTHER VALUES OF k.

REFERENCES: "DESIGN OF CONCRETE AIRPORT PAVEMENT" AND "COMPUTER PROGRAM FOR AIRPORT PAVEMENT DESIGN - PROGRAM PDILB" PORTLAND CEMENT ASSOCIATION.

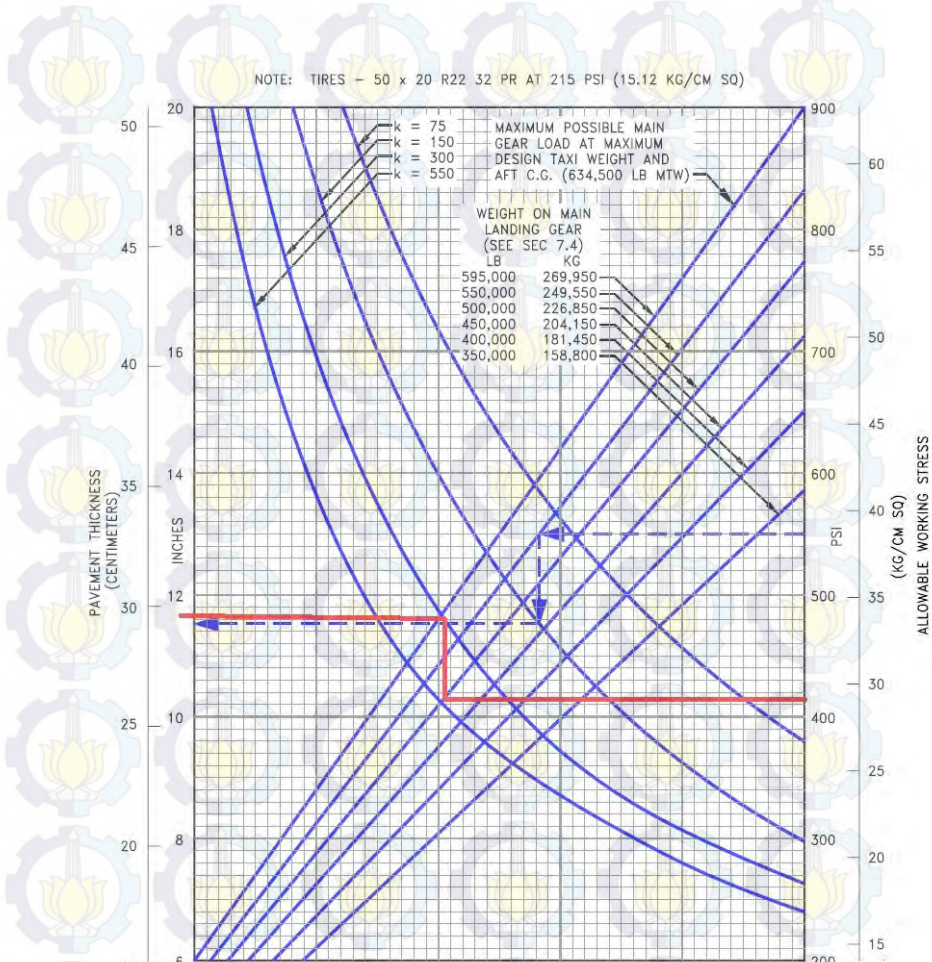
**TIPE PESAWAT : B-747**



NOTE:  
THE VALUES OBTAINED BY USING THE MAXIMUM LOAD REFERENCE LINE AND ANY VALUE OF k ARE EXACT. FOR LOADS LESS THAN MAXIMUM, THE CURVES ARE EXACT FOR k = 300 BUT DEVIATE SLIGHTLY FOR OTHER VALUES OF k.

REFERENCES:  
"DESIGN OF CONCRETE AIRPORT PAVEMENT" AND "COMPUTER PROGRAM FOR AIRPORT PAVEMENT DESIGN - PROGRAM PDILB"  
PORTLAND CEMENT ASSOCIATION.

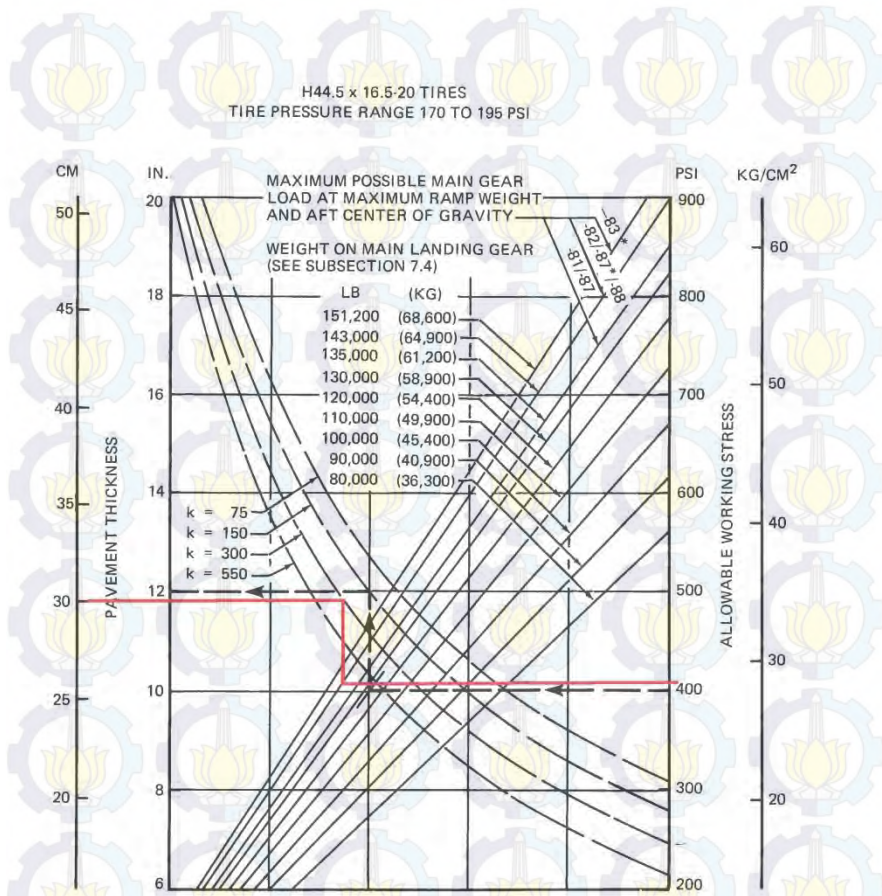
**TIPE PESAWAT : B-773**



NOTE:  
THE VALUES OBTAINED BY USING THE MAXIMUM LOAD REFERENCE LINE AND ANY VALUE OF k ARE EXACT. FOR LOADS LESS THAN MAXIMUM, THE CURVES ARE EXACT FOR k = 300 BUT DEVIATE SLIGHTLY FOR OTHER VALUES OF k.

REFERENCES:  
"DESIGN OF CONCRETE AIRPORT PAVEMENT" AND "COMPUTER PROGRAM FOR AIRPORT PAVEMENT DESIGN - PROGRAM PDILB"  
PORTLAND CEMENT ASSOCIATION.

**TIPE PESAWAT : B-777**

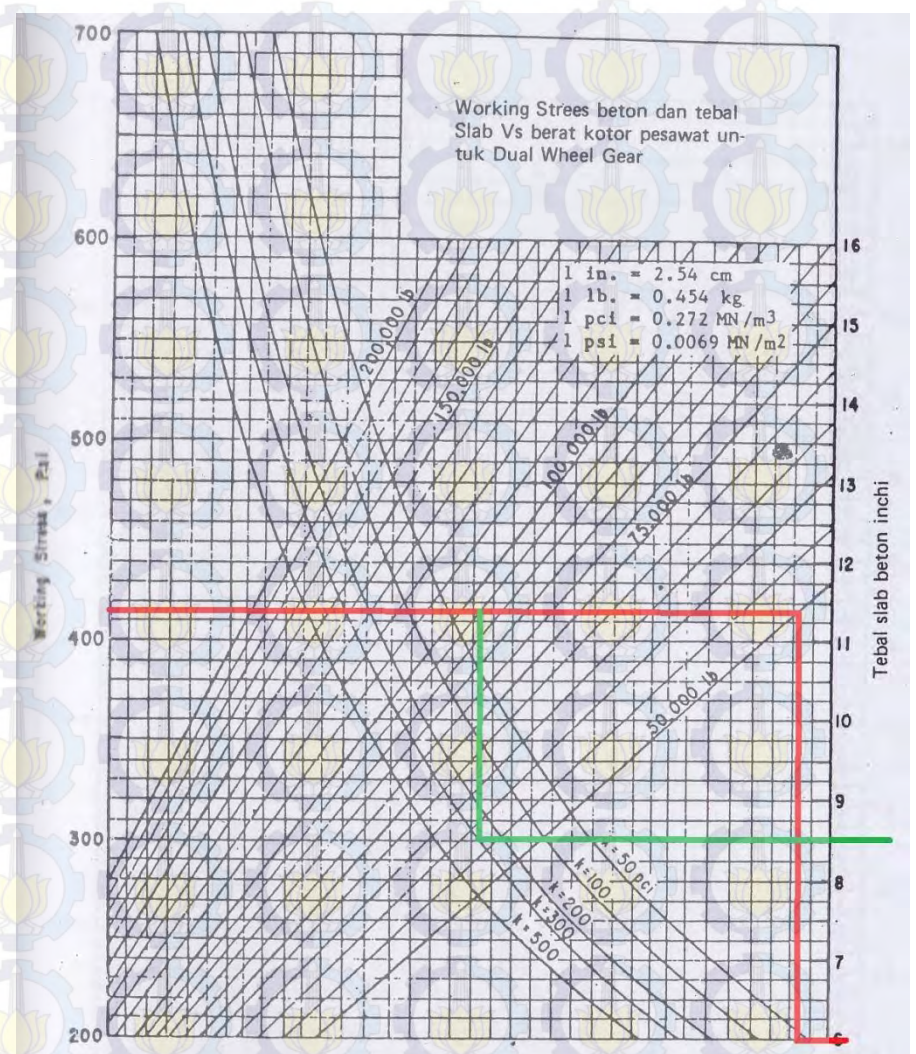


NOTE: THE VALUES OBTAINED BY USING THE MAXIMUM LOAD REFERENCE LINE AND ANY VALUE OF k ARE EXACT. FOR LOADS LESS THAN MAXIMUM, THE CURVES ARE EXACT FOR k = 300 BUT DEVIATE SLIGHTLY FOR OTHER VALUES OF k.

REFERENCES: "DESIGN OF CONCRETE AIRPORT PAVEMENT" AND "COMPUTER PROGRAM FOR AIRPORT PAVEMENT DESIGN - PROGRAM PDILB," PORTLAND CEMENT ASSN.

\*WITH FUSELAGE AUXILIARY FUEL TANKS

TIPE PESAWAT : MD-82



TIPE PESAWAT : — ATR-72, MA-60  
— CRJ

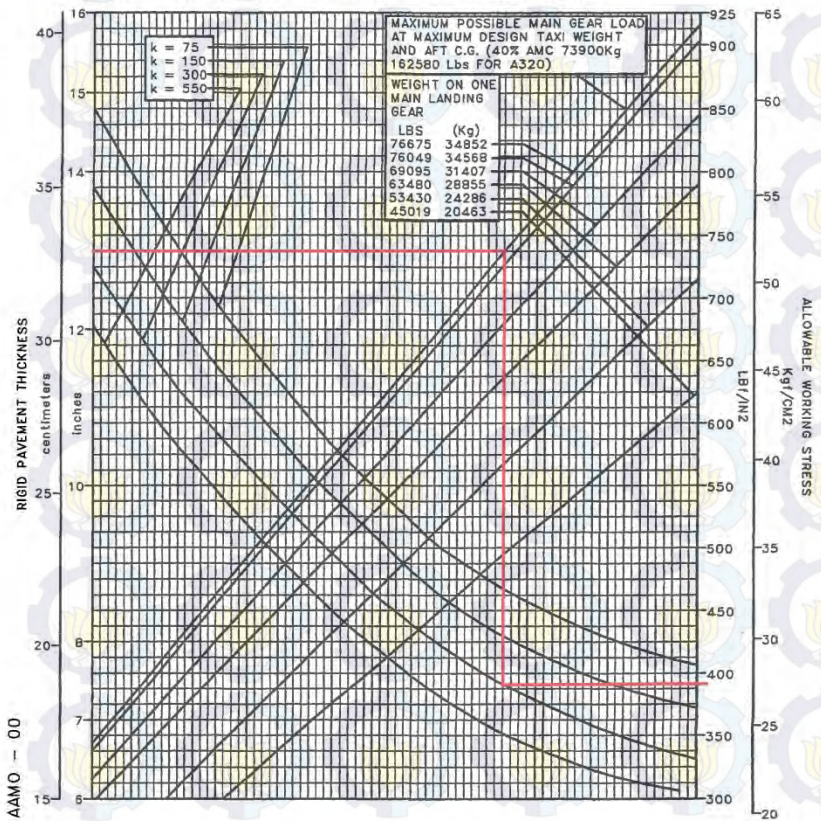


LAMPIRAN 7 : KURVA PCA METODE FATIGUE REPETITION TAHUN 2013

**A320**

AIRPLANE CHARACTERISTICS

NOTE : Tyre pressure Constant = 14 bar 203 lbf/in<sup>2</sup>



NOTES : THE VALUES OBTAINED BY USING THE MAXIMUM LOAD REFERENCE LINE AND ANY VALUES FOR k ARE EXACT FOR LOADS LESS THAN MAXIMUM, THE CURVES ARE EXACT FOR k=300 BUT DEVIATE SLIGHTLY FOR ANY OTHER VALUES OF k.

REFERENCE : "DESIGN OF CONCRETE AIRPORT PAVEMENTS" AND "COMPUTER PROGRAM FOR AIRPORT PAVEMENT DESIGN-PROGRAM PD1B" PORTLAND CEMENT ASSOCIATION.

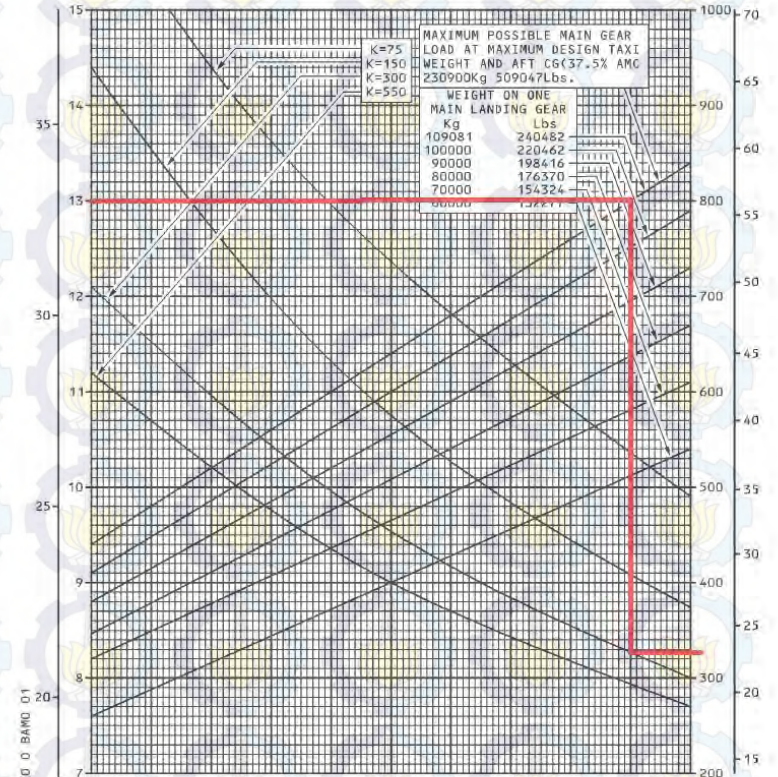
Rigid Pavement Requirements - Portland Cement Association (PCA)

TIPE PESAWAT : A-320

**A330**

AIRPLANE CHARACTERISTICS

RIGID PAVEMENT THICKNESS  
cm in.  
ALLOWABLE WORKING STRESS  
PSI Kg/cm<sup>2</sup>



NOTES : THE VALUES OBTAINED BY USING THE MAXIMUM LOAD REFERENCE LINE AND ANY VALUES FOR k ARE EXACT FOR LOADS LESS THAN MAXIMUM, THE CURVES ARE EXACT FOR k=300 BUT DEVIATE SLIGHTLY FOR ANY OTHER VALUES OF k.

REFERENCE : "DESIGN OF CONCRETE AIRPORT PAVEMENTS" AND "COMPUTER PROGRAM FOR AIRPORT PAVEMENT DESIGN-PROGRAM PD1B" PORTLAND CEMENT ASSOCIATION.

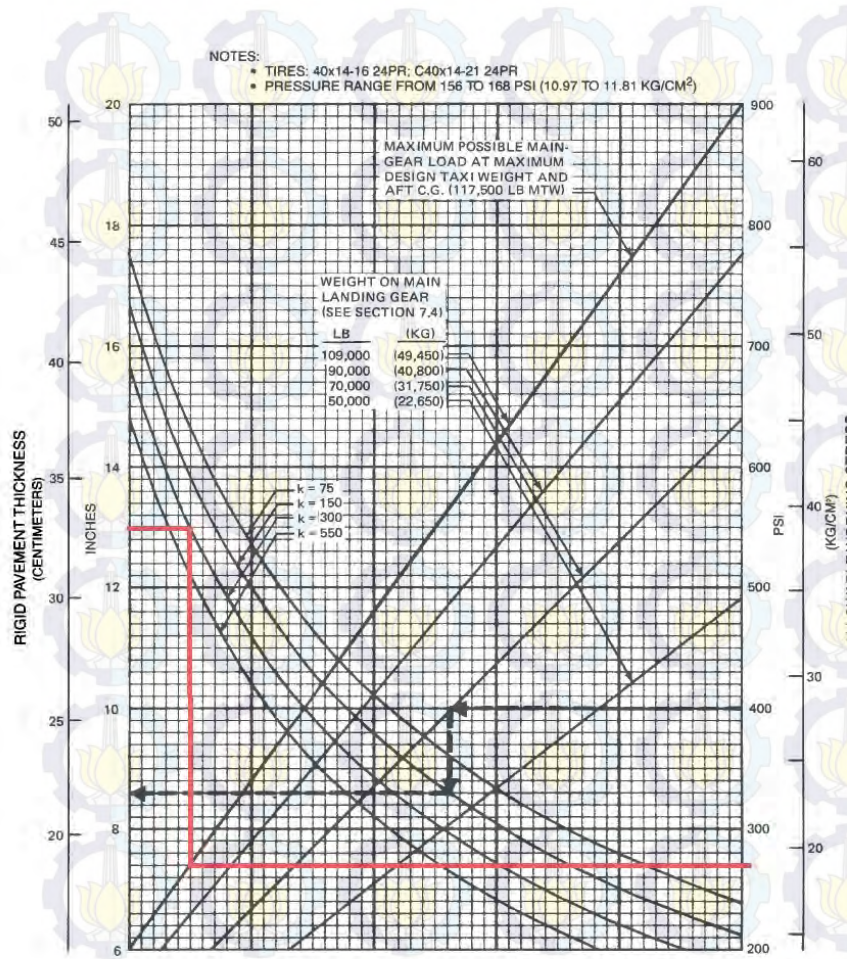
NOTE: TIRE PRESSURE CONSTANT AT 206PSI (14.2bar)

RIGID PAVEMENT REQUIREMENTS  
PORTLAND CEMENT ASSOCIATION  
(A330-200)

TIPE PESAWAT : A-330, -200, -300

NAS 07 07 00 0 AAMO - 00

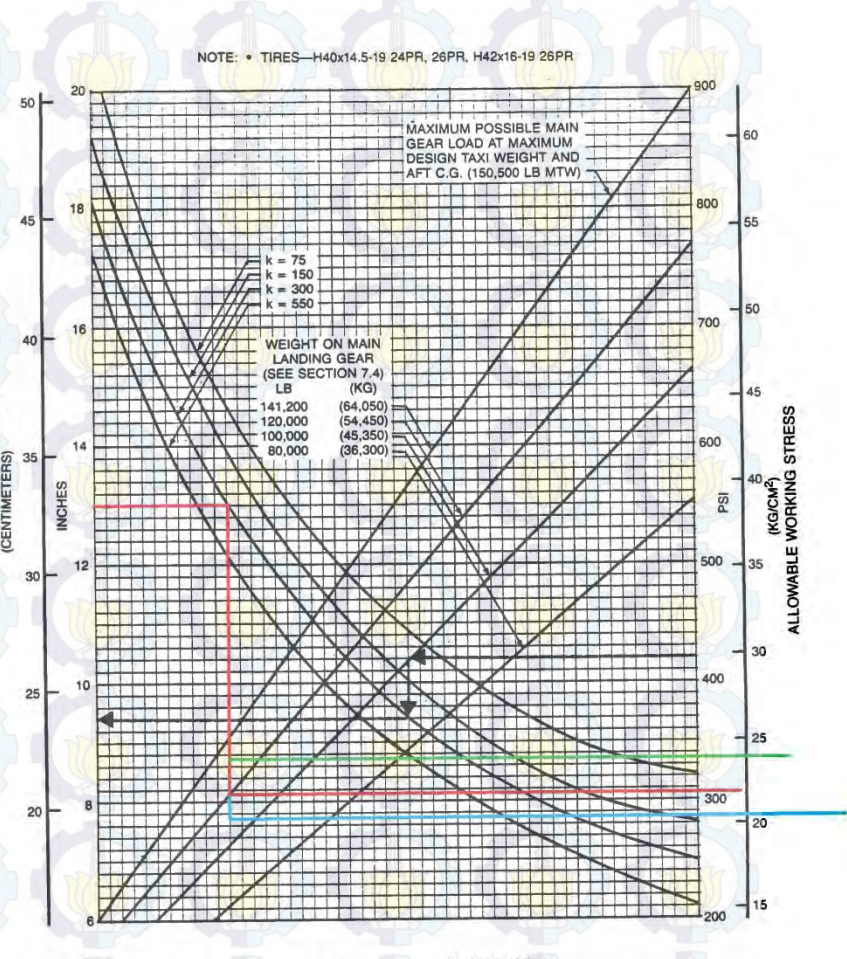
64C5 07 07 00 0 BAWO 01



NOTE: THE VALUES OBTAINED BY USING THE MAXIMUM LOAD REFERENCE LINE AND ANY VALUE OF  $k$  ARE EXACT. FOR LOADS LESS THAN MAXIMUM, THE CURVES ARE EXACT FOR  $k = 300$  BUT DEVIATE SLIGHTLY FOR OTHER VALUES OF  $k$ .

REFERENCE: "DESIGN OF CONCRETE AIRPORT PAVEMENT" AND "COMPUTER PROGRAM FOR AIRPORT PAVEMENT DESIGN—PROGRAM PDILB," PORTLAND CEMENT ASSOCIATION.

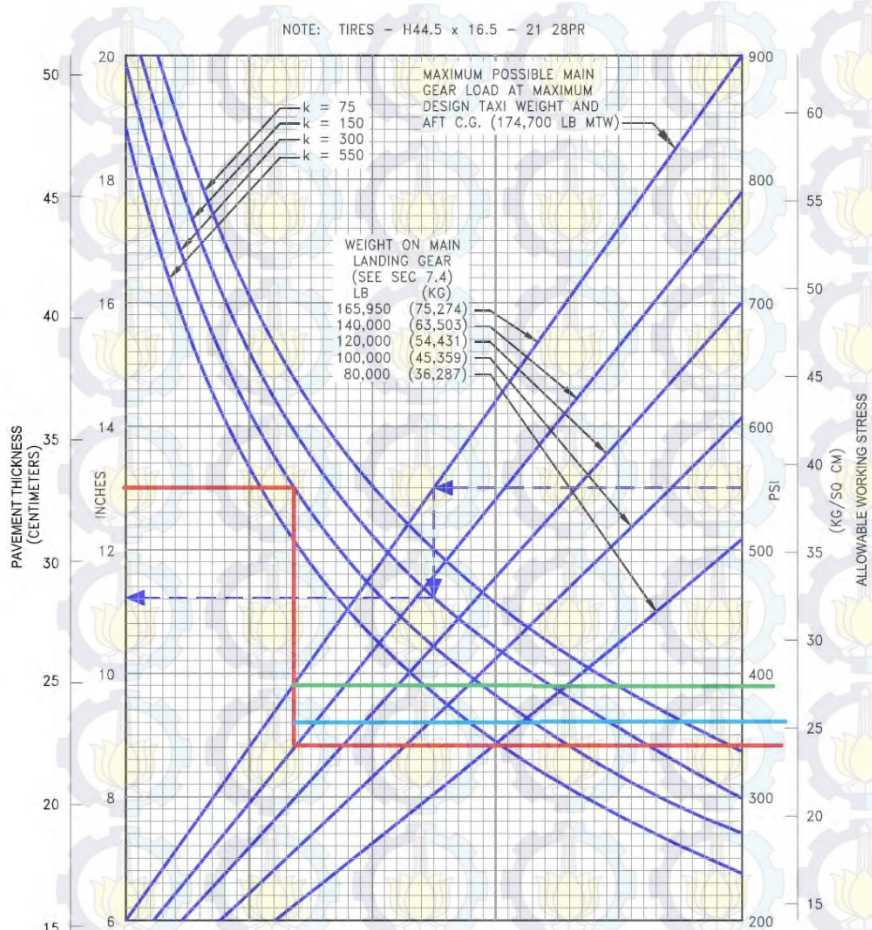
TIPE PESAWAT : B-732



NOTE: THE VALUES OBTAINED BY USING THE MAXIMUM LOAD REFERENCE LINE AND ANY VALUE OF  $k$  ARE EXACT. FOR LOADS LESS THAN MAXIMUM, THE CURVES ARE EXACT FOR  $k = 300$  BUT DEVIATE SLIGHTLY FOR OTHER VALUES OF  $k$ .

REFERENCES: "DESIGN OF CONCRETE AIRPORT PAVEMENT" AND "COMPUTER PROGRAM FOR AIRPORT PAVEMENT DESIGN - PROGRAM PDILB" PORTLAND CEMENT ASSN.

TIPE PESAWAT :   
— B-733   
— B-734   
— B-735

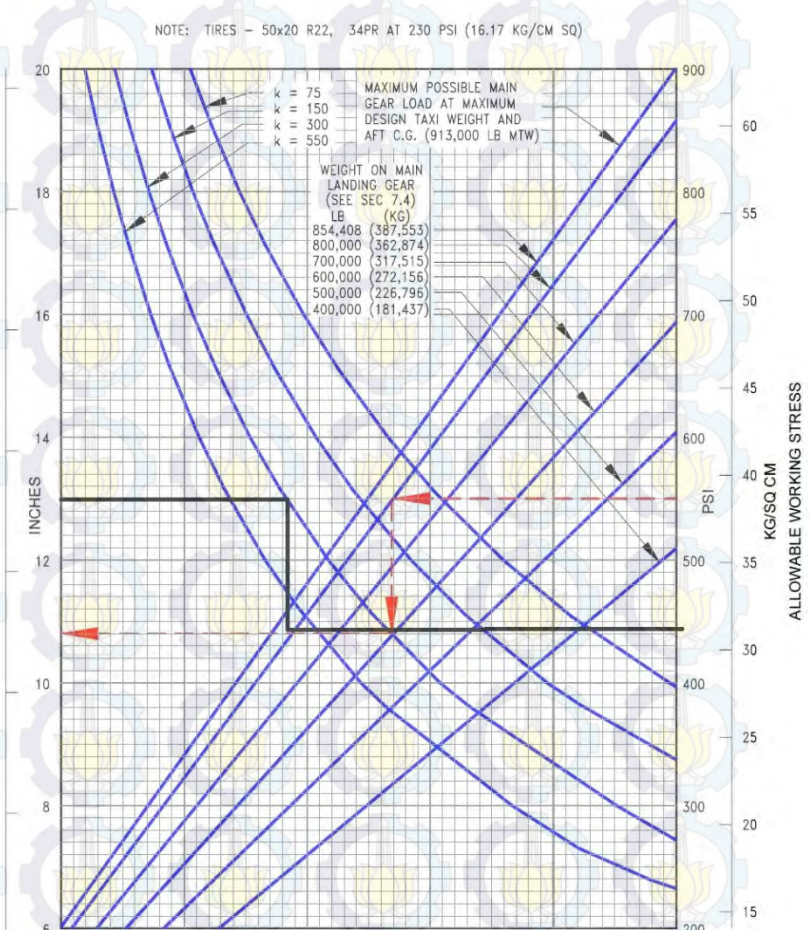


NOTE: THE VALUES OBTAINED BY USING THE MAXIMUM LOAD REFERENCE LINE AND ANY VALUE OF k ARE EXACT. FOR LOADS LESS THAN MAXIMUM, THE CURVES ARE EXACT FOR k = 300 BUT DEVIATE SLIGHTLY FOR OTHER VALUES OF k.

REFERENCES: "DESIGN OF CONCRETE AIRPORT PAVEMENT" AND "COMPUTER PROGRAM FOR AIRPORT PAVEMENT DESIGN - PROGRAM PDILB" PORTLAND CEMENT ASSOCIATION.

**TIPE PESAWAT :**

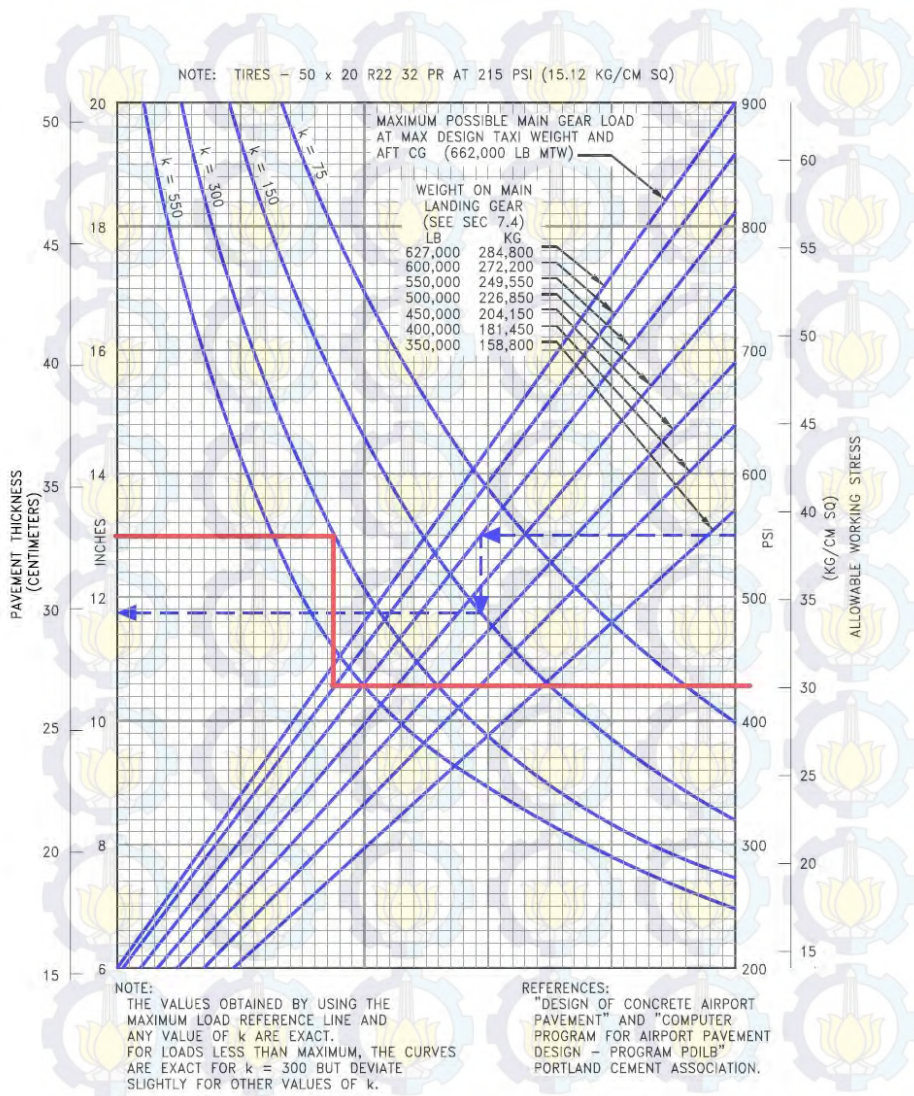
- B-737
- B-738
- B-739



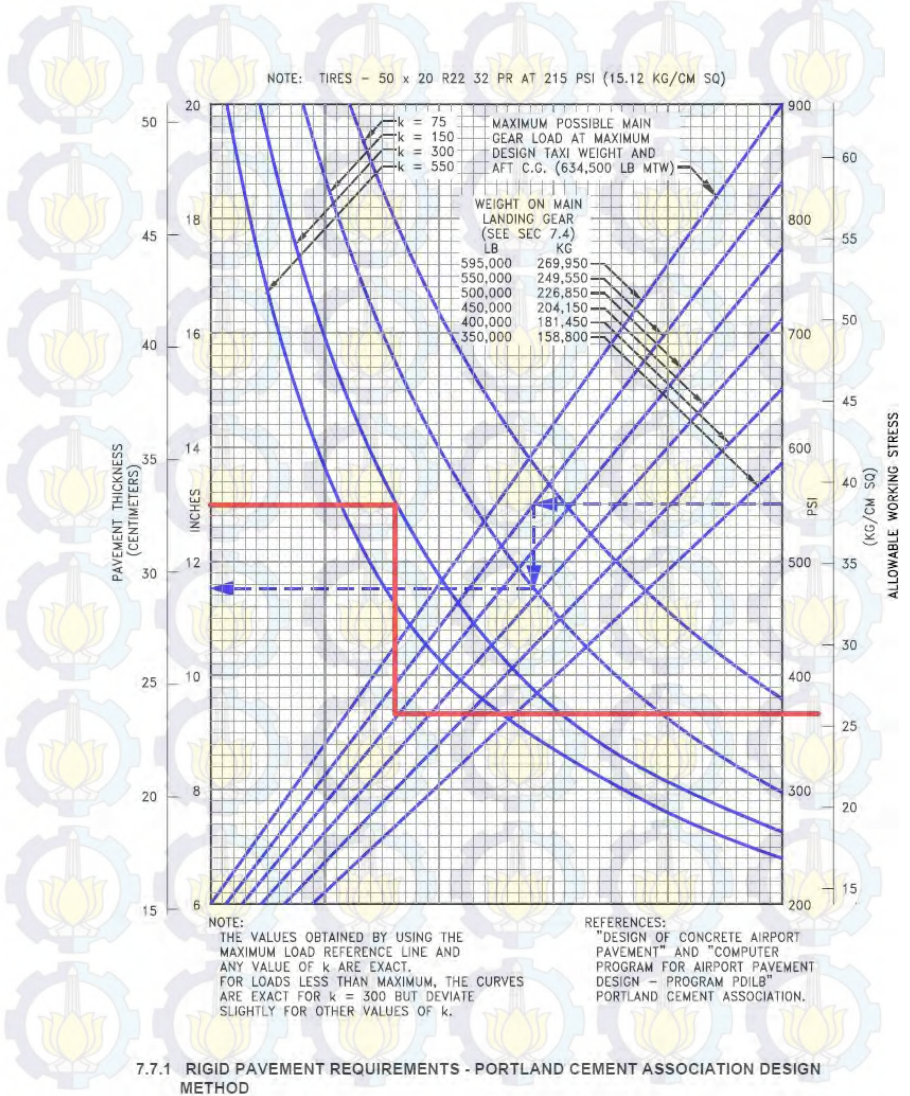
NOTE: THE VALUES OBTAINED BY USING THE MAXIMUM LOAD REFERENCE LINE AND ANY VALUE OF k ARE EXACT. FOR LOADS LESS THAN MAXIMUM, THE CURVES ARE EXACT FOR k = 300 BUT DEVIATE SLIGHTLY FOR OTHER VALUES OF k.

REFERENCES: "DESIGN OF CONCRETE AIRPORT PAVEMENT" AND "COMPUTER PROGRAM FOR AIRPORT PAVEMENT DESIGN - PROGRAM PDILB" PORTLAND CEMENT ASSOCIATION.

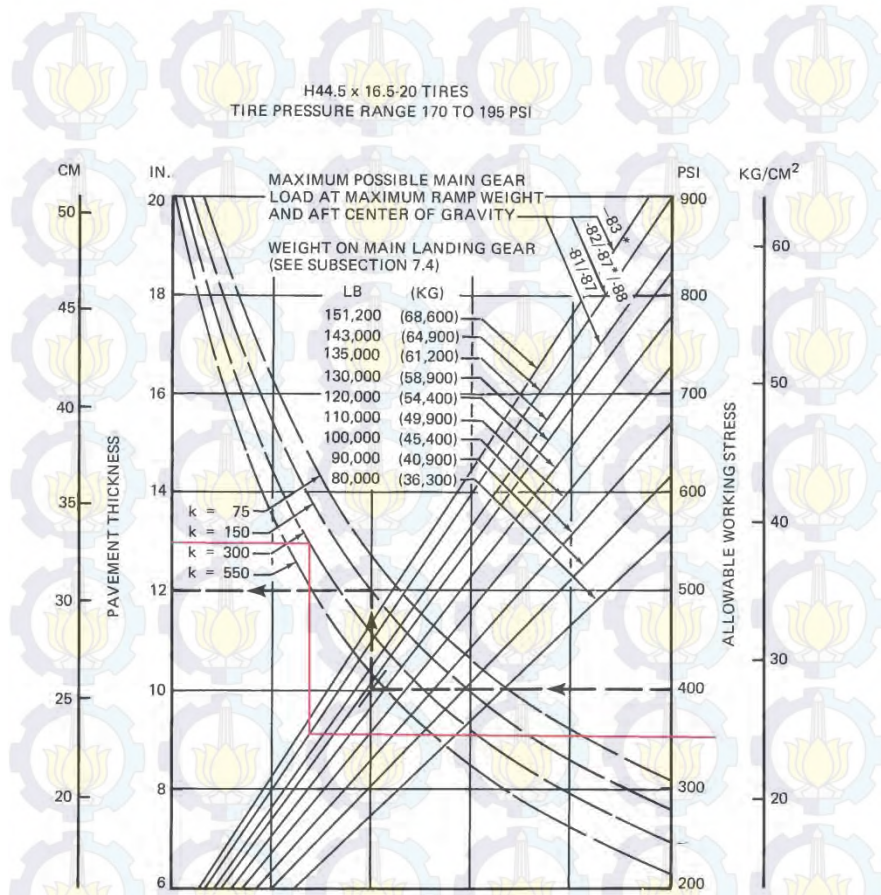
**TIPE PESAWAT : B-747**



TIPE PESAWAT : B-773



TIPE PESAWAT : B-777

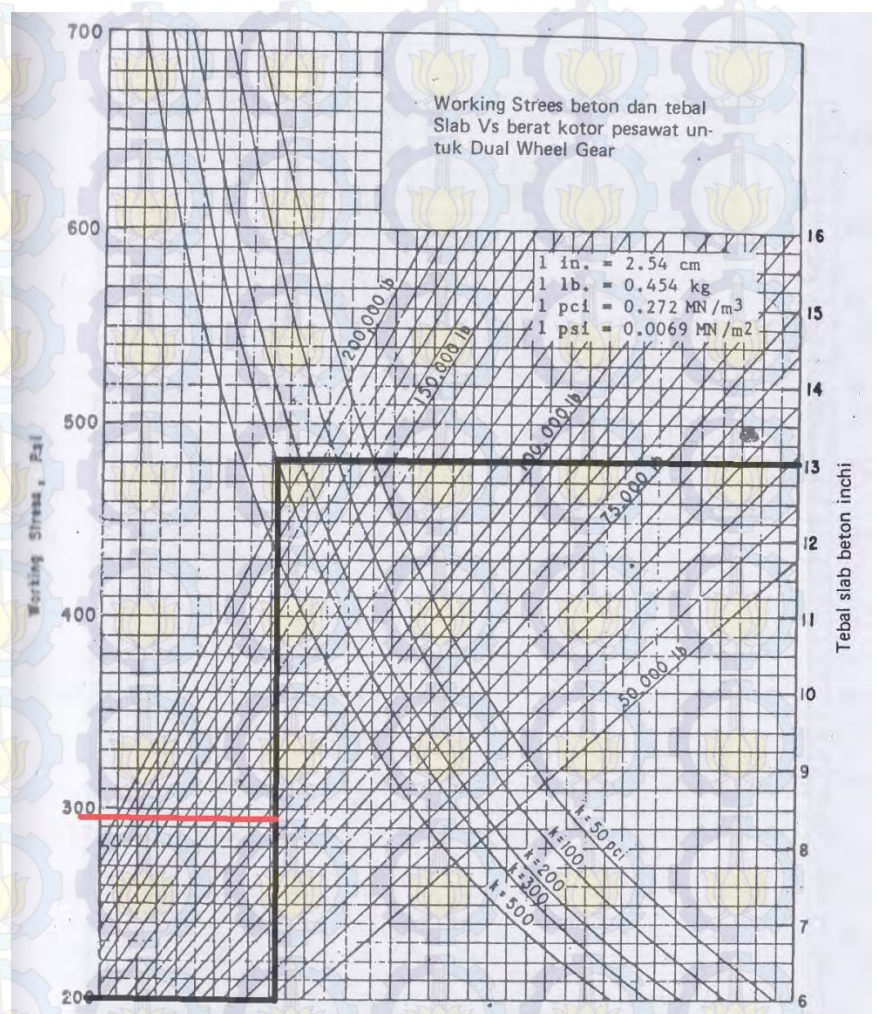


NOTE: THE VALUES OBTAINED BY USING THE MAXIMUM LOAD REFERENCE LINE AND ANY VALUE OF k ARE EXACT. FOR LOADS LESS THAN MAXIMUM, THE CURVES ARE EXACT FOR k = 300 BUT DEVIATE SLIGHTLY FOR OTHER VALUES OF k.

REFERENCES: "DESIGN OF CONCRETE AIRPORT PAVEMENT" AND "COMPUTER PROGRAM FOR AIRPORT PAVEMENT DESIGN - PROGRAM PDILB," PORTLAND CEMENT ASSN.

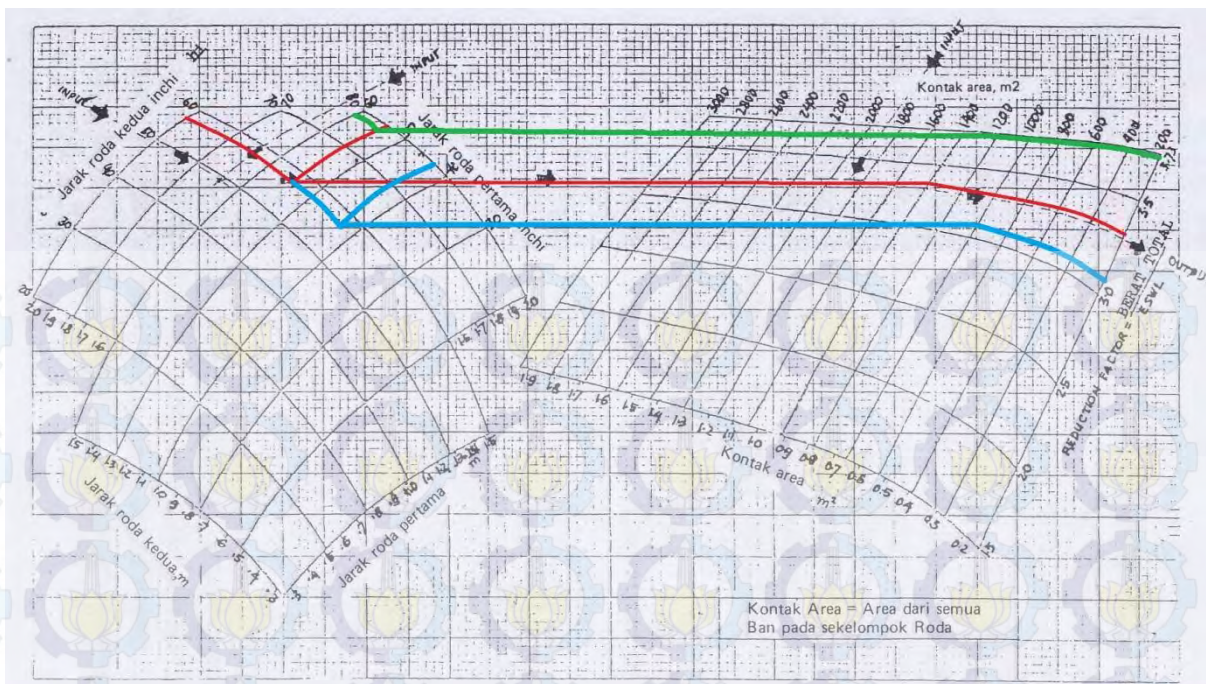
\*WITH FUSELAGE AUXILIARY FUEL TANKS

TIPE PESAWAT : MD-82



TIPE PESAWAT : **—** ATR-72, MA-60  
**—** CRJ

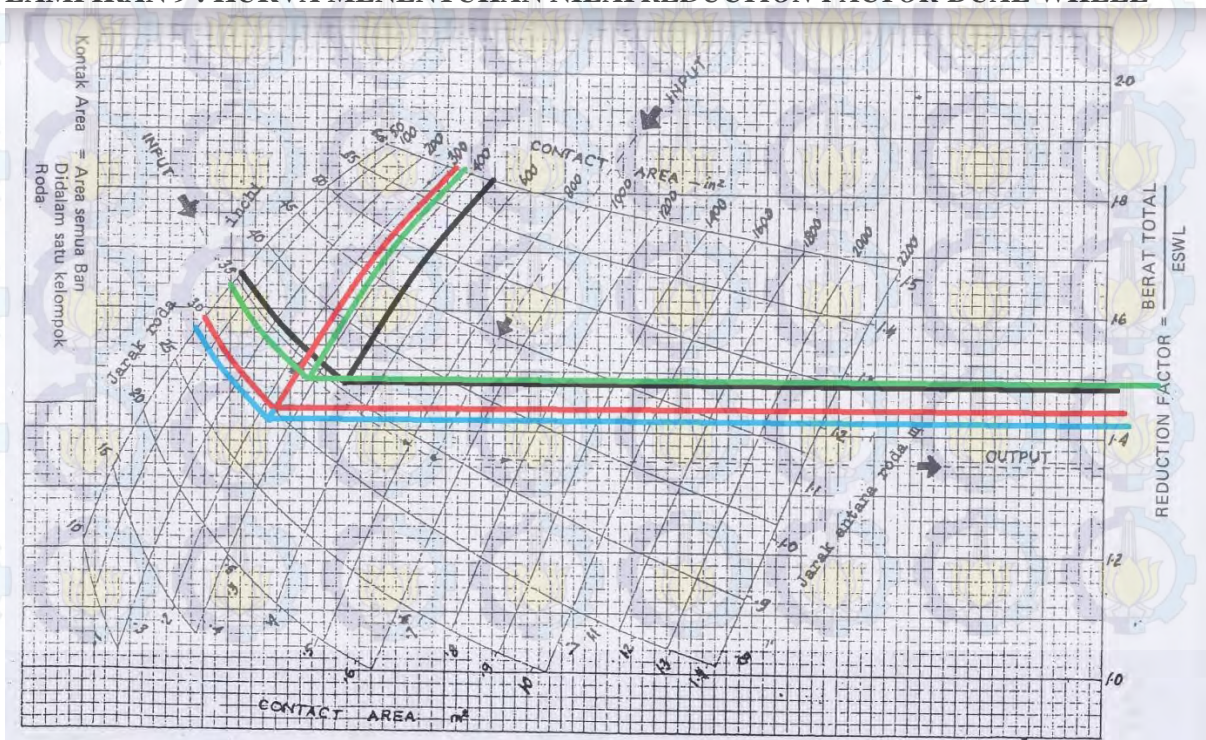
**LAMPIRAN 8 : KURVA MENENTUKAN NILAI REDUCTION FACTOR DUAL TANDEM**



**TIPE PESAWAT :**

- A-330, -200, 300
- B-747
- B-773, B-777

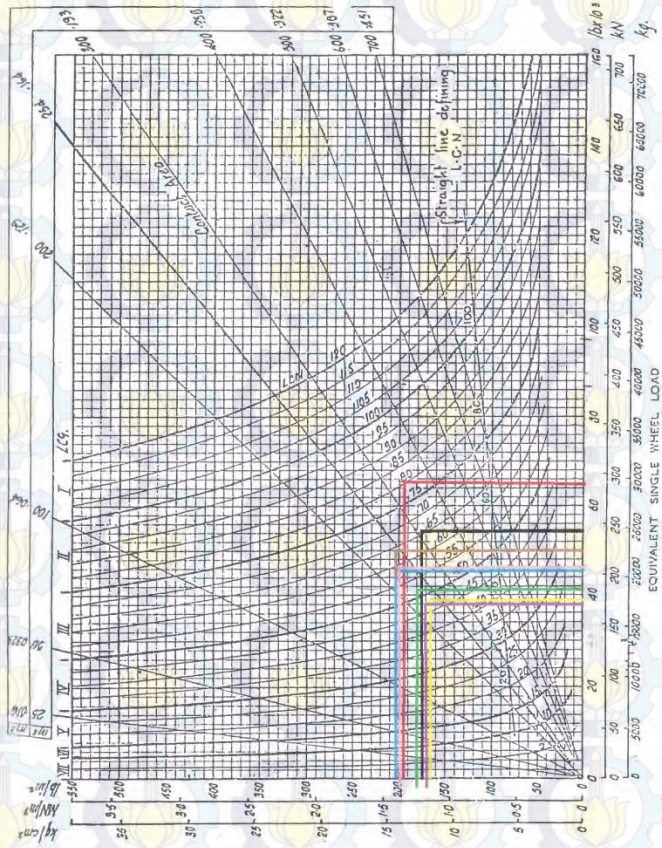
**LAMPIRAN 9 : KURVA MENENTUKAN NILAI REDUCTION FACTOR DUAL WHEEL**



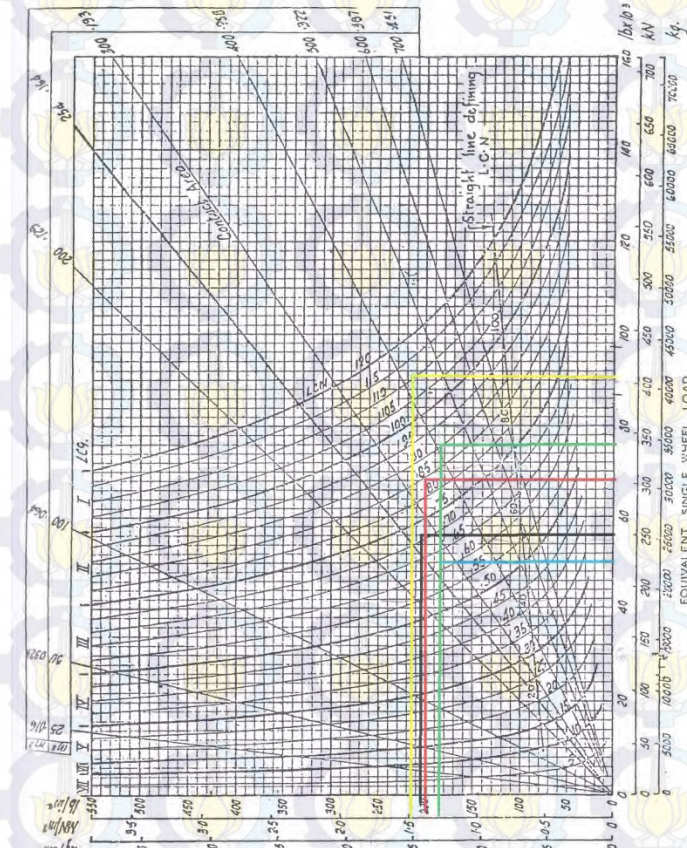
**TIPE PESAWAT :**

- A-320
- B-732, B-733, B-734, B-735
- B-737, B-738, B739
- MD-82

LAMPIRAN 10 : KURVA MENENTUKAN NILAI LCN PESAWAT



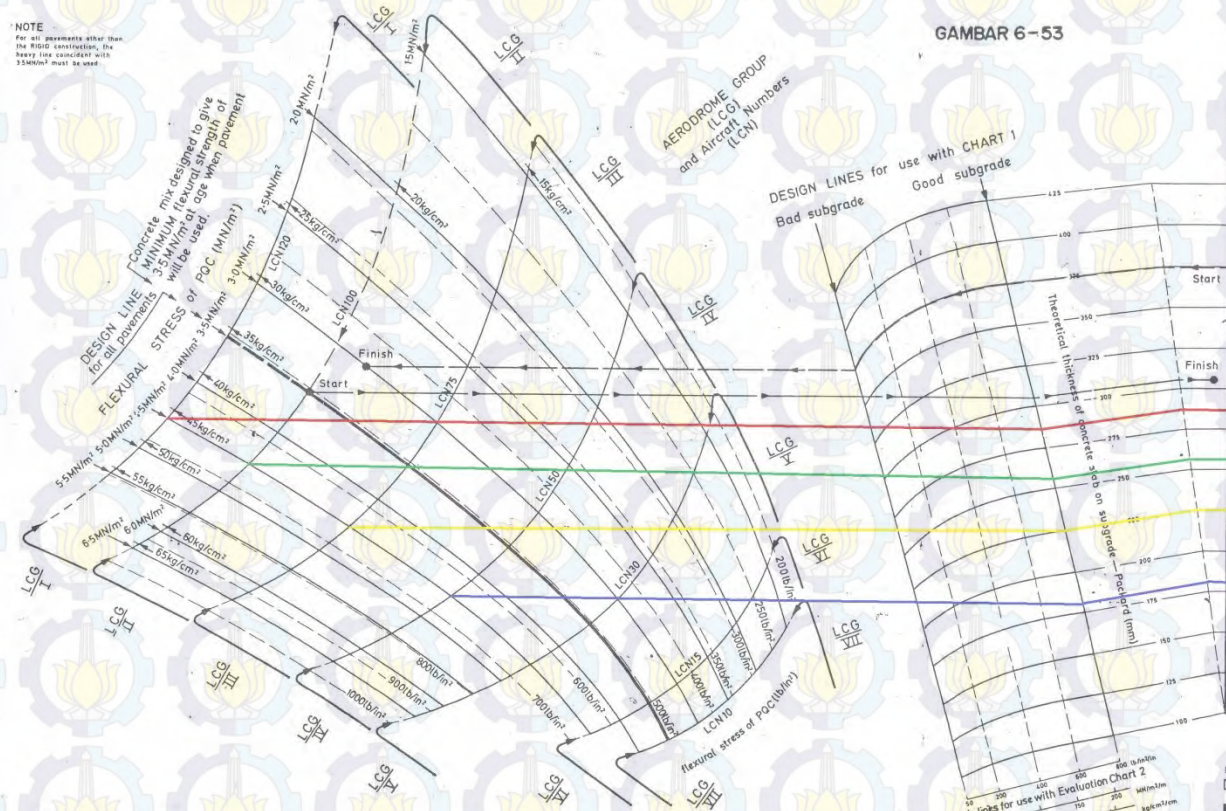
- TIPE PESAWAT :
- A-320
  - A-330, -200, -300
  - B-732
  - B-733
  - B-734
  - B-735
  - B-737
  - B-738



- TIPE PESAWAT :
- B-739
  - B-747
  - B-773
  - B-777
  - MD-82

LAMPIRAN 11 : KURVA MENENTUKAN TEBAL PERKERASAN METODE LCN

NOTE  
For all pavements other than the RIGID construction, the heavy line concrete with 35MN/m<sup>2</sup> must be used.



GAMBAR 6-53

NOTE  
The recommended equivalent construction in Chart 1 is related to DOE Standard Specification.

**CHART 1**  
RECOMMENDED AIRCRAFT PAVEMENTS

Width (mm)	Concrete slab (mm)	Flexible Pavement (mm)
150	150	100
150	200	100
150	250	100
150	300	100
150	350	100
150	400	100
150	450	100
150	500	100
150	550	100
150	600	100
150	650	100
150	700	100
150	750	100
150	800	100
150	850	100
150	900	100
150	950	100
150	1000	100
150	1050	100
150	1100	100
150	1150	100
150	1200	100
150	1250	100
150	1300	100
150	1350	100
150	1400	100
150	1450	100
150	1500	100
150	1550	100
150	1600	100
150	1650	100
150	1700	100
150	1750	100
150	1800	100
150	1850	100
150	1900	100
150	1950	100
150	2000	100
150	2050	100
150	2100	100
150	2150	100
150	2200	100
150	2250	100
150	2300	100
150	2350	100
150	2400	100
150	2450	100
150	2500	100
150	2550	100
150	2600	100
150	2650	100
150	2700	100
150	2750	100
150	2800	100
150	2850	100
150	2900	100
150	2950	100
150	3000	100
150	3050	100
150	3100	100
150	3150	100
150	3200	100
150	3250	100
150	3300	100
150	3350	100
150	3400	100
150	3450	100
150	3500	100
150	3550	100
150	3600	100
150	3650	100
150	3700	100
150	3750	100
150	3800	100
150	3850	100
150	3900	100
150	3950	100
150	4000	100
150	4050	100
150	4100	100
150	4150	100
150	4200	100
150	4250	100
150	4300	100
150	4350	100
150	4400	100
150	4450	100
150	4500	100
150	4550	100
150	4600	100
150	4650	100
150	4700	100
150	4750	100
150	4800	100
150	4850	100
150	4900	100
150	4950	100
150	5000	100
150	5050	100
150	5100	100
150	5150	100
150	5200	100
150	5250	100
150	5300	100
150	5350	100
150	5400	100
150	5450	100
150	5500	100
150	5550	100
150	5600	100
150	5650	100
150	5700	100
150	5750	100
150	5800	100
150	5850	100
150	5900	100
150	5950	100
150	6000	100
150	6050	100
150	6100	100
150	6150	100
150	6200	100
150	6250	100
150	6300	100
150	6350	100
150	6400	100
150	6450	100
150	6500	100
150	6550	100
150	6600	100
150	6650	100
150	6700	100
150	6750	100
150	6800	100
150	6850	100
150	6900	100
150	6950	100
150	7000	100
150	7050	100
150	7100	100
150	7150	100
150	7200	100
150	7250	100
150	7300	100
150	7350	100
150	7400	100
150	7450	100
150	7500	100
150	7550	100
150	7600	100
150	7650	100
150	7700	100
150	7750	100
150	7800	100
150	7850	100
150	7900	100
150	7950	100
150	8000	100
150	8050	100
150	8100	100
150	8150	100
150	8200	100
150	8250	100
150	8300	100
150	8350	100
150	8400	100
150	8450	100
150	8500	100
150	8550	100
150	8600	100
150	8650	100
150	8700	100
150	8750	100
150	8800	100
150	8850	100
150	8900	100
150	8950	100
150	9000	100
150	9050	100
150	9100	100
150	9150	100
150	9200	100
150	9250	100
150	9300	100
150	9350	100
150	9400	100
150	9450	100
150	9500	100
150	9550	100
150	9600	100
150	9650	100
150	9700	100
150	9750	100
150	9800	100
150	9850	100
150	9900	100
150	9950	100
150	10000	100

**CHART 2**  
for evaluation only of existing pavements

Width (mm)	Concrete slab (mm)	Flexible Pavement (mm)
150	150	100
150	200	100
150	250	100
150	300	100
150	350	100
150	400	100
150	450	100
150	500	100
150	550	100
150	600	100
150	650	100
150	700	100
150	750	100
150	800	100
150	850	100
150	900	100
150	950	100
150	1000	100
150	1050	100
150	1100	100
150	1150	100
150	1200	100
150	1250	100
150	1300	100
150	1350	100
150	1400	100
150	1450	100
150	1500	100
150	1550	100
150	1600	100
150	1650	100
150	1700	100
150	1750	100
150	1800	100
150	1850	100
150	1900	100
150	1950	100
150	2000	100
150	2050	100
150	2100	100
150	2150	100
150	2200	100
150	2250	100
150	2300	100
150	2350	100
150	2400	100
150	2450	100
150	2500	100
150	2550	100
150	2600	100
150	2650	100
150	2700	100
150	2750	100
150	2800	100
150	2850	100
150	2900	100
150	2950	100
150	3000	100
150	3050	100
150	3100	100
150	3150	100
150	3200	100
150	3250	100
150	3300	100
150	3350	100
150	3400	100
150	3450	100
150	3500	100
150	3550	100
150	3600	100
150	3650	100
150	3700	100
150	3750	100
150	3800	100
150	3850	100
150	3900	100
150	3950	100
150	4000	100
150	4050	100
150	4100	100
150	4150	100
150	4200	100
150	4250	100
150	4300	100
150	4350	100
150	4400	100
150	4450	100
150	4500	100
150	4550	100
150	4600	100
150	4650	100
150	4700	100
150	4750	100
150	4800	100
150	4850	100
150	4900	100
150	4950	100
150	5000	100
150	5050	100
150	5100	100
150	5150	100
150	5200	100
150	5250	100
150	5300	100
150	5350	100
150	5400	100
150	5450	100
150	5500	100
150	5550	100
150	5600	100
150	5650	100
150	5700	100
150	5750	100
150	5800	100
150	5850	100
150	5900	100
150	5950	100
150	6000	100
150	6050	100
150	6100	100
150	6150	100
150	6200	100
150	6250	100
150	6300	100
150	6350	100
150	6400	100
150	6450	100
150	6500	100
150	6550	100
150	6600	100
150	6650	100
150	6700	100
150	6750	100
150	6800	100
150	6850	100
150	6900	100
150	6950	100
150	7000	100
150	7050	100
150	7100	100
150	7150	100
150	7200	100
150	7250	100
150	7300	100
150	7350	100
150	7400	100
150	7450	100
150	7500	100
150	7550	100
150	7600	100
150	7650	100
150	7700	100
150	7750	100
150	7800	100
150	7850	100
150	7900	100
150	7950	100
150	8000	100
150	8050	100
150	8100	100
150	8150	100
150	8200	100
150	8250	100
150	8300	100
150	8350	100
150	8400	100
150	8450	100
150	8500	100
150	8550	100
150	8600	100
150	8650	100
150	8700	100
150	8750	100
150	8800	100
150	8850	100
150	8900	100
150	8950	100
150	9000	100
150	9050	100
150	9100	100
150	9150	100
150	9200	100
150	9250	100
150	9300	100
150	9350	100
150	9400	100
150	9450	100
150	9500	100
150	9550	100
150	9600	100
150	9650	100
150	9700	100
150	9750	100
1		