



TUGAS AKHIR – RC141501

**ANALISIS PERBANDINGAN  
METODE DESAIN PERKERASAN BANDARA  
ANTARA METODE GRAFIS DAN FAARFIELD  
STUDI KASUS BANDARA JUANDA**

COK NANDA LATE REZKI  
NRP : 3113 106 013

Dosen Pembimbing :  
Ir. Ervina Ahyudanari, ME., PhD

Jurusan Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2016



FINAL PROJECT – RC141501

COMPARATIVE ANALYSIS ON  
DESIGN METHOD OF AIRPORT PAVEMENT  
BETWEEN GRAPHIC AND FAARFIELD  
CASE STUDY JUANDA AIRPORT

COK NANDA LATE REZKI  
NRP : 3113 106 013

Supervisor :  
Ir. Ervina Ahyudanari, ME., PhD

Department Of Civil Engineering  
Faculty Of Civil Engineering And Planing  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2016

**ANALISIS PERBANDINGAN  
METODE DESAIN PERKERASAN BANDARA  
ANTARA METODE GRAFIS DAN FAARFIELD  
STUDI KASUS BANDARA JUANDA**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Bidang Studi Transportasi  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya**

Oleh :

**COK NANDA LATE REZKI  
NRP : 3113 106 013**

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Ir. Ervina Ahyudanari, M.E., Ph.D.  
NIP. 196902241995122003



**SURABAYA  
MARET, 2016**

**Analisis Perbandingan Metode Desain Perkerasan Bandara  
Antara Metode Grafis dan FAARFIELD  
Studi Kasus Bandara Juanda**

Nama Mahasiswa : Cok Nanda Late Rezki  
NRP : 3113 106 013  
Jurusan : Teknik Sipil FTSP-ITS  
Dosen Pembimbing : Ir. Ervina Ahyudanari, ME., PhD

Perkerasan bandara didesain mengikuti pedoman yang disediakan oleh Federal Aviation Administration (FAA). Sampai tahun 2009 desain perkerasan Bandara didasarkan pada AC 150/5320-6D. Pedoman desain ini memanfaatkan grafik untuk menentukan ketebalan perkerasan. Grafik dipilih diantara sejumlah grafik berdasarkan pada pesawat terbang desain. Sebagian besar bandara di Indonesia dirancang menggunakan metode ini.

Dengan mengganti metode grafik dengan metode software, ada pertanyaan apakah perkerasan yang dirancang dengan metode grafik masih memadai dalam memberikan layanan jika perhitungan didasarkan pada metode perangkat lunak. Tugas akhir ini mencoba untuk mengevaluasi perkerasan bandara yang dirancang oleh grafik dan membandingkan persyaratan ketebalan itu apabila menggunakan software.

Dalam mencapai tujuan penelitian ini, data dari pergerakan pesawat di Juanda Internasional Airport, karakteristik perkerasan yang diperoleh dari data PCN, jenis pesawat yang diperlukan sebagai data untuk kedua metode. Hasil analisis didapatkan perbedaan ketebalan perkerasan pada perhitungan perkerasan lentur yaitu 127cm menggunakan metode grafis dan 115cm menggunakan metode FAARFIELD, sedangkan perhitungan perkerasan kaku, tidak mempunyai perbedaan yang signifikan pada kedua metode yaitu sebesar 76,5cm menggunakan metode grafis dan 77cm menggunakan FAARFIELD.

**Kata kunci : Analisis perbandingan, Perkerasan, Bandara, Metode, Grafis, Software, FAARFIELD.**

# **Comparative analysis of Juanda Airport Pavement Design Between Graphic Method and FAARFIELD Case Study Juanda Airport**

Name : Cok Nanda Late Rezki  
NRP : 3113 106 013  
Major : Civil Engineering FTSP-ITS  
Supervisor : Ir. Ervina Ahyudanari, ME., P.hD

Designing airport pavement follows the guidelines provided by Federal Aviation Administration (FAA). Until year 2009 the design of airport pavement is based on AC 150/5320-6D. This design guidelines utilize charts to determine the pavement thickness. The chart is selected amongst number of charts based on the design aircraft. Most of airports in Indonesia were designed utilizing this method.

By replacing the charts method by software method, there is question raise whether the pavements that were designed by charts method still adequate in providing service if the calculation is based on software method. This final year project attempts to evaluate the airport pavement that was designed by charts and comparing the thickness requirement of it by utilizing software.

In achieving the objective of this study, the data of aircraft movements in Juanda Internasional Airport, the pavement characteristic that is obtained from the value of PCN , the aircraft types were required as entry of both methods. The Analysis results we found differences in the thickness of the pavement in the calculation of flexible pavement is 127cm using graphical method and 115cm using FAARFIELD. The calculation of rigid pavement, does not have much difference in the two methods. The result are 76,5cm using graphical methods and 77cm using FAARFIELD.

**Keywords: Comparison analysis, Pavement, Airport, Method, Graphic, Software, FAARFIELD.**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas berkat, rahmat, dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Tugas akhir yang berjudul **"ANALISIS PERBANDINGAN DESAIN PERKERASAN BANDARA ANTARA METODE GRAFIS DAN FAARFIELD STUDI KASUS BANDARA JUANDA"** ini merupakan salah satu syarat mata kuliah yang harus dilaksanakan untuk menyelesaikan pendidikan program studi S1 teknik sipil FTSP – ITS.

Dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini penulis menghadapi berbagai kendala, namun berkat bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak maka Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.

Pada kesempatan ini selayaknya penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Orang tua dan keluarga yang telah memberikan dukungan baik secara moral maupun materil.
2. Ibu Ervina Ahyudanari selaku dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan bimbingan dan ilmu yang sangat bermanfaat kepada penulis.
3. Rekan-rekan mahasiswa S1 Lintas Jalur Teknik Sipil ITS khususnya LJ Genap 2014.

Penulis menyadari bahwa Laporan ini mungkin masih banyak kekurangan-kekurangan dan jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran guna penyempurnaan untuk ke depannya. Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Surabaya, Maret 2016

Cok Nanda late Rezki

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## DAFTAR ISI

<b>ABSTRAK</b>	i
<b>ABSTRACT</b>	iii
<b>KATA PENGANTAR</b>	v
<b>DAFTAR ISI</b>	vii
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	ix
<b>DAFTAR TABEL</b>	xi

### **BAB I PENDAHULUAN**

1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	1
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat.....	3
1.6 Sistematika Laporan.....	3

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

2.1 Umum.....	5
2.1.1 Struktur Perkerasan Lentur.....	7
2.1.2 Material Perkerasan.....	9
2.2 Karakteristik Pesawat.....	13
2.2.1 Kondisi Fisik Pesawat.....	13
2.2.2 Berat Pesawat.....	18
2.2.3 Jenis Pesawat.....	19
2.3 Metode Perhitungan Perkerasan.....	21
2.3.1 Metode FAA Perkerasan Lentur Cara Grafis.....	21
2.3.2 Perhitungan Perkerasan Menggunakan Software FAARFIELD.....	35
2.4 Pertimbangan Perencanaan Perkerasan.....	39
2.5 Parameter Penentu Tebal Perkerasan.....	43

### **BAB III METODOLOGI**

3.1 Metode Pengerjaan Tugas Akhir.....	45
3.2 Uraian dan Rincian Skematik Diagram.....	45
3.3 Tahapan Desain Perkerasan Cara Manual/Grafis.....	49
3.3.1 Perkerasan Lentur ( <i>Flexible pavement</i> ).....	49
3.3.2 Perkerasan Kaku ( <i>Rigid Pavement</i> ).....	50
3.4 Tahapan Desain Perkerasan Menggunakan Software FAARFIELD.....	51

### **BAB IV ANALISIS DATA**

4.1 Analisis Perbedaan Varabel.....	59
4.2 Analisis Perhitungan Tebal Perkerasan.....	60
4.2.1 Perhitungan perkerasan lentur metode grafis.....	60
4.2.2 Perhitungan tebal perkerasan kaku.....	73
4.3 Perhitungan Menggunakan software FAARFIELD.....	75
4.3.1 Perhitungan total Annual Depature.....	75
4.3.2 Perhitungan Cumulative Damage Factor.....	77
4.3.3 Perhitungan Perkerasan Dengan FAARFIELD.....	81
4.4 Perbandingan Tebal Perkerasan cara Manual dengan Software FAARFIELD.....	82
4.4.1 Analisis Hasil Perhitungan.....	84
4.5 Pengolahan Data Untuk Peramalan.....	85
4.5.1 Metode regresi linear.....	85
4.5.2 Perhitungan peramalan Faarfield.....	94
4.6 analisis umur rencana untuk kedua metode.....	97

### **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1 Kesimpulan.....	103
5.2 Saran.....	104

### **DAFTAR PUSTAKA**

## DAFTAR TABEL

Tabel	Uraian	Hal
2.1	Konversi standar persamaan untuk konfigurasi sumbu pesawat	9
2.2	Karakteristik pesawat	12
2.3	Klarifikasi tanah dasar untuk perencanaan perkerasn oleh FAA	
2.4	Faktor Konversi Keberangkatan Ekuivalen	18
2.5	Tebal minimum base course	20
2.6	Index perkalian Annual Depature diatas 25000	21
2.7	Pass To Coverage Ratio	23
2.8	Nilai standar pada software FAARFIELD	23
2.9	Tebal minimum Base Course Untuk Software FAARFIELD	25
3.1	Pergerakan pesawat di bandara juanda	28
3.2	Nilai PCN runway bandara juanda	50
4.1	Perbedaan konsep perhitungan grafis dan FAARFIELD	59
4.2	Jenis pesawat, susunan roda, MTOW, dan keberangkatan tahunan	61
4.3	Hasil hitungan ekuivalen annual depature untuk bandara juanda	65
4.4	Tata cara penulisan kode PCN	67
4.5	Klasifikasi kategori daya dukung tanah dasar	68
4.6	Klasifikasi tekanan roda pesawat	68
4.7	Persentase pengali untuk tingkat keberangkatan tahunan diatas 25.000	70
4.8	Tebal minimum base course	71
4.9	Susunan perkerasan lentur CBR 4%	72
4.10	Total keberangkatan pesawat di bandara juanda	76
4.11	CDF contribution pesawat juanda	77
4.12	Dual spacing pesawat di juanda	78
4.13	Susunan perkerasan dengan perhitungan software FAARFIELD	79

4.14	Perbandingan hasil perhitungan tebal perkerasan flexible	82
4.15	Perbedaan konssep perhitungan tebal perkerasan cara grafis dan software FAARFIELD	83
4.16	Pergerakan pesawat A320	86
4.17	Pergerakan pesawat ATR-72	87
4.18	Pergerakan pesawat B735	88
4.19	Pergerakan pesawat B738	89
4.20	Pergerakan pesawat B739	89
4.21	Hasil peramalan menggunakan metode regresi linear	90
4.22	Rekapitulasi Perhitungan Metode Grafis	92
4.23	Perhitungan annual depature di tahun 2030	94
4.24	Perhitungan annual depature ditahun 2028	95
4.25	Persentase pertumbuhan pesawat tahunan	97

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Uraian	Hal
2.1	Lapisan-lapisan perkerasan lentur	10
2.2	Tipe ukuran pesawat desain	20
2.3	Konfigurasi roda pendaratan untuk pesawat roda tunggal	26
2.4	Konfigurasi roda pendaratan untuk pesawat roda ganda	26
2.5	Konfigurasi roda pendaratan untuk pesawat roda tandem	27
2.6	Konfigurasi roda pendaratan untuk pesawat roda tandem ganda	27
2.7	Grafik perencanaan perkerasan lentur	32
2.8	Grafik penentuan tebal base course minimum	34
2.9	Tampilan layar utama FAARFIELD	37
2.10	Tekanan effective dua roda yang tidak overlap	38
2.11	Tekanan effective dua roda yang overlap	39
3.1	Flowcart metodologi	48
3.2	Grafik perencanaan perkerasan lentur ( <i>Flexible pavement</i> )	51
3.3	Grafik perencanaan perkerasan lentur ( <i>Flexible pavement</i> )	52
3.4	Layar utama FAARFIELD	53
3.5	Membuat job baru	54
3.6	Memilih jenis perkerasan	55
3.7	Input data struktur	55
3.8	Tampilan lapisan perkerasan	56
3.9	Jenis pesawat desain	57
3.10	Modify struktur	57
3.11	Desain struktur otomatis	58
3.12	Hasil desain perkerasan	59
4.1	Grafik tebal perkerasan untuk pesawat A-	68

	320	
4.2	Susunan perkerasan dengan menggunakan cara grafis	72
4.3	Perhitungan slab beton	74
4.4	Spasi roda masing-masing pesawat	78
4.5	Susunan perkerasan menggunakan software FAARFIELD	79
4.6	Hasil Desain perkerasan menggunakan software FAARFIELD	79
4.7	Lapisan perkerasan kaku	80
4.8	Spasi roda masing-masing pesawat	81
4.9	Perbandingan tebal perkerasan	82
4.10	Perbandingan tebal perkerasan kaku	83
4.11	Tebal perkerasan ditahun 2035	89
4.12	Peramalan perkerasan ditahun 2028	93
4.13	FAARFIELD	96
4.14	FAARFIELD	97

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **I.1 Latar Belakang**

Pembangunan dan pengembangan sarana dan prasarana transportasi baik darat, laut, maupun udara perlu ditingkatkan. Hal ini bertujuan untuk menjangkau, menggali, serta mengembangkan potensi dan sumberdaya alam dan manusia, mengingat kondisi geografis di Indonesia yang terdiri dari ribuan pulau yang tersebar dari Sabang sampai Merauke. Transportasi udara memiliki peranan penting dalam memudahkan akses dari satu daerah ke daerah lainnya. Di Indonesia memiliki banyak bandara udara yang terdiri dari bermacam type menurut ukuran dan jenis pesawat yang mendarat di Bandara tersebut.

FAA (*Federal Aviation Administration*) yang dibentuk adalah lembaga pemerintah Amerika berfungsi untuk membuat regulasi hal-hal yang berhubungan dengan penerbangan dan navigasi di Amerika. FAA mengeluarkan peraturan perhitungan struktur perkerasan bandar udara yaitu AC (*Advisory Circular*) 150\_5320\_6D yang disebut dengan cara grafis dan AC (*Advisory Circular*) 150\_5320\_6E yang menggunakan software FAARFIELD (*Federal Aviation Administration Rigid and Flexible Iterative Elastic Layered Design*). Perbedaan mendasar dari kedua metode ini adalah pada prosedur perhitungannya. Pada metode grafis, digunakan pesawat desain untuk memperhitungkan tebal perkerasan. Pesawat-pesawat yang beroperasi di suatu bandara harus dikonversikan kepesawat desain. Nilai konversi tersebut diatur di AC 150\_5320\_6D. Untuk metode menggunakan program bantu FAARFIELD, semua jenis pesawat yang beroperasi dihitung pengaruhnya terhadap kerusakan perkerasan untuk menentukan tebal perkerasan yang bisa menerima beban pergerakan pesawat.

Dari perbedaan mendasar tersebut perlu dianalisis hasil perencanaan tebal perkerasan dari kedua metode tersebut.

Analisis kedua perbedaan tersebut penting dilakukan karena perencanaan perencanaan perkerasan bandara di Indonesia mengacu pada aturan FAA. Dengan diketahuinya perbedaan ini, dapat memberikan informasi besar perbedaan hasil perencanaan untuk dapat memperkirakan daya dukung perkerasan yang sudah ada. Hal ini penting karena sebagian besar bandara di Indonesia dibangun sebelum program bantu FAARFIELD ditetapkan.

## **I.2 Rumusan Masalah**

Perhitungan tebal perkerasan landasan pacu berdasarkan FAA terdapat dua jenis metode yaitu perhitungan grafis dengan menggunakan metode AC (*Advisory Circular*) 150\_5320\_6D dan perhitungan dengan menggunakan program FAARFIELD dengan berdasarkan metode AC (*Advisory Circular*) 150\_5320\_6E. Permasalahan dalam pembahasan ini adalah perbedaan parameter-parameter yang digunakan dan cara perhitungan kedua metode ini yaitu meliputi :

1. Variabel apa saja yang tidak sama pada kedua metode perencanaan tersebut?
2. Bagaimana hasil perhitungan untuk masing-masing metode dengan menggunakan data pesawat di Juanda?
3. Berapa persen perbedaan perhitungan dari kedua metode tersebut?
4. Berapa tahun hasil perhitungan masing-masing metode masih dapat melayani?

## **I.3 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Dapat mengetahui perbedaan variabel apa saja yang ada diantara kedua metode tersebut.
2. Dapat menghitung tebal perkerasan dari kedua metode menggunakan data pesawat yang ada pada bandara Juanda.

3. Dapat mengetahui signifikansi perbedaan yang terjadi dari hasil perencanaan dengan kedua metode tersebut. Nilai signifikansi dinyatakan dalam persen.
4. Dapat mengetahui sampai berapa lama hasil perencanaan masing-masing metode diperkirakan dapat melayani operasional bandara.

#### **I.4 Batasan Masalah**

Batasan masalah dimaksudkan untuk memberikan gambaran kondisi analisis TA ini dalam mencapai tujuan TA. Termasuk ke dalamnya adalah asumsi-asumsi yang digunakan dalam analisis. batasan-batasan dalam TA ini yaitu :

1. Permasalahan dalam tugas akhir ini dilakukan pada kasus bandara udara Internasional Juanda.
2. Tebal perkerasan yang didesain adalah tebal perkerasan landasan pacu, perkerasan kaku dan tidak dianalisa *overlay* dan perpanjangan landasan pacu.
3. Metode penelitian berdasarkan pada standar FAA yaitu dengan cara grafis dan menggunakan program FAARFIELD.
4. Dalam penelitian ini tidak membahas analisis biaya.
5. Material yang digunakan dalam perhitungan perkerasan ini sama dengan standar material yang ada dalam persyaratan material perkerasan bandara FAA, sehingga perbedaan yang mungkin timbul akibat perbedaan karakteristik material tidak diperhitungkan.

#### **I.5 Manfaat**

Adapun manfaat dari penulisan tugas akhir ini mencakup : Dengan penulisan tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan wawasan khusus kepada penulis tentang bagaimana cara merencanakan tebal lapis perkerasan bandara baik dengan cara grafis maupun dengan bantuan program komputer. Dengan penulisan Tugas Akhir ini diharapkan dapat digunakan menjadi

bahan referensi dalam pemilihan metode desain perkerasan bandara.

## **I.6 Sistematika Penulisan**

Dalam penulisan laporan Tugas Akhir ini diuraikan dalam beberapa bagian antara lain :

1. Bab 1 Pendahuluan  
Pendahuluan berisi mengenai latar belakang penelitian, identifikasi masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat serta sistematika penulisan.
2. Bab 2 Tinjauan Pustaka  
Pada bagian bab tinjauan pustaka akan diuraikan landasan teori yang akan dibuat sebagai acuan dalam perhitungan dan yang terkait dengan topik penelitian.
3. Bab 3 Metodologi Penelitian  
Metodologi penelitian menjelaskan tahapan penelitian untuk desain tebal perkerasan landasan pacu dengan metode yang berbeda. Tahapan-tahapan penelitian dilakukan untuk mencapai tujuan yang telah ditentukan di Bab1 akan dijelaskan pada Bab3. Diagram alir penelitian, metode pengumpulan data serta tahapan perhitungan.
4. Bab 4 Analisis Data  
Perhitungan desain tebal perkerasan landasan pacu dengan menggunakan dua metode yaitu AC 150\_5320\_6D atau dengan cara grafis dan dengan AC 150\_5320\_6E atau dengan menggunakan program FAARFIELD dilakukan dibagian Bab 4, perbedaan kedua metode tersebut akan dianalisa penyebab terjadinya perbedaan dan hasil perhitungan yang dilakukan.
5. Bab 5 Kesimpulan  
Penutup berisikan tentang kesimpulan dan saran dari hasil pembahasan.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Umum**

Perkerasan adalah struktur yang terdiri dari beberapa lapisan dengan daya dukung yang berlainan. Perkerasan yang dibuat dari campuran aspal dengan agregat, digelar di atas suatu permukaan material granular mutu tinggi di sebut perkerasan lentur, sedangkan perkerasan yang dibuat dari slab-slab beton (*Portland Cemen Concrete*) disebut perkerasan kaku (FAA, 2009).

Menurut Basuki (1986), perkerasan dibuat dengan tujuan memberikan permukaan yang halus dan aman pada segala kondisi cuaca, serta ketebalan dari setiap lapisan harus cukup aman untuk menjamin bahwa beban pesawat yang bekerja tidak merusak perkerasan lapisan dibawahnya. Pada struktur perkerasan bekerja muatan roda pesawat terjadi sampai beberapa juta kali selama periode rencana. Setiap kali muatan ini lewat, terjadi defleksi lapisan permukaan dan lapisan dibawahnya. Pengulangan beban (repetisi) menyebabkan terjadinya retakan yang pada akhirnya mengakibatkan kerusakan.

Perkerasan lentur terdiri dari satu lapisan bahan atau lebih yang digolongkan sebagai lapisan permukaan (*Surface course*), lapisan pondasi atas (*base course*), dan lapisan pondasi bawah (*Subbase Course*) yang telah dipersiapkan. Lapisan tanah dasar dapat berupa galian dan timbunan. Lapisan permukaan terdiri dari campuran bahan bitumen atau biasanya aspal dan aggregate, yang tebalnya bervariasi tergantung dari kebutuhan.

Fungsi utamanya adalah untuk memberikan permukaan yang rata agar lalu-lintas menjadi aman dan nyaman dan juga untuk memikul beban yang bekerja diatasnya dan meneruskannya kelapisan yang ada dibawahnya. Lapisan pondasi atas dapat terdiri dari material berbutir kasar dengan bahan pengikat (misalnya dengan aspal atau semen) atau tanpa bahan pengikat

tetapi menggunakan bahan penguat (misalnya kapur). Lapisan pondasi bawah dapat terdiri dari batu alam yang dipecahkan terlebih dahulu atau yang alami. Sering kali digunakan bahan sirtu (batu-pasir) yang diproses terlebih dahulu atau bahan yang dipilih dari hasil galian di tempat pekerjaan.

Semakin besar kemampuan tanah dasar untuk memikul beban, maka tebal lapisan perkerasan yang dibutuhkan semakin kecil. Karena keseluruhan struktur perkerasan didukung sepenuhnya oleh tanah dasar, maka identifikasi dan evaluasi terhadap struktur tanah dasar adalah sangat penting bagi perencanaan tebal perkerasan. Pada perencanaan perkerasan pada *runway*, memiliki konsep dasar yang sama dengan perencanaan perkerasan pada jalan raya, dimana perencanaan berdasarkan beban yang bekerja dan kekuatan bahan yang digunakan untuk mendukung beban yang bekerja. Namun, pada aplikasi sesungguhnya, tentu terdapat perbedaan pada perencanaan perkerasan *runway* dan jalan raya, yaitu :

1. Jalan raya dirancang untuk kendaraan yang berbobot sekitar 9000 lbs, sedangkan *runway* dirancang untuk memikul beban pesawat yang rata-rata berbobot jauh lebih besar yaitu sekitar 100.000 lbs.
  2. Jalan raya direncanakan mampu melayani perulangan beban (repetisi) 1000-2000 truk per harinya. Sedangkan *runway* direncanakan untuk melayani repetisi beban 20.000 sampai 40.000 kali selama umur rencana.
  3. Tekanan ban pada kendaraan yang bekerja kira-kira 80-90 psi, sedangkan pada *runway* tekanan ban yang bekerja di atasnya adalah mencapai 400 psi.
  4. Perkerasan jalan raya mengalami distress yang lebih besar karena beban bekerja lebih dekat ke tepi lapisan, berbeda pada *runway* dimana beban bekerja pada bagian tengah perkerasan.
- Jenis perkerasan landasan pacu yang akan digunakan dalam perhitungan adalah perkerasan lentur. Faktor pemilihan jenis perkerasan lentur adalah sebagai berikut:

- a. Jenis pesawat yang beroperasi pada landasan pacu tersebut
- b. Beban dari pesawat
- c. Volume lalu lintas
- d. Kondisi lingkungan bandar udara

### **2.1.1 Struktur Perkerasan Lentur**

Perkerasan lentur adalah suatu perkerasan yang mempunyai sifat *elastis* (Heru Basuki:1986), maksudnya adalah perkerasan akan melendut saat diberi pembebanan. Keseluruhan struktur perkerasan lentur didukung sepenuhnya oleh tanah dasar lapisan penutup melindungi lapis pondasi atas dari perembesan air permukaan, memberikan permukaan yang rata, terikat baik dan bebas dari butiran-butiran lepas, memikul gaya geser yang disebabkan oleh beban pesawat dan memberikan permukaan yang tidak menimbulkan keausan pada ban yang tidak semestinya. Adapun struktur lapisan perkerasan lentur sebagai berikut :

#### **1. Tanah dasar (*Sub Grade*)**

Tanah dasar pada perencanaan tebal perkerasan akan menentukan kualitas konstruksi perkerasan sehingga sifat-sifat tanah dasar menentukan kekuatan dan keawetan konstruksi landasan pacu. Untuk menentukan daya dukung tanah dasar dengan cara CBR (*California Bearing Ratio*), MR (*Resilient Modulus*), dan K (*Modulus Reaksi Tanah Dasar*). Di Indonesia daya dukung tanah dasar untuk kebutuhan perencanaan tebal lapisan perkerasan ditentukan dengan menggunakan pemeriksaan CBR. Penentuan daya dukung tanah dasar berdasarkan evaluasi hasil pemeriksaan laboratorium, sifat-sifat daya dukung tanah dasar sepanjang suatu bagian jalan.

Koreksi-koreksi perlu dilakukan baik dalam tahap perencanaan detail maupun tahap pelaksanaan, disesuaikan dengan kondisi tempat. Koreksi-koreksi semacam ini akan diberikan pada gambar rencana atau spesifikasi pelaksanaan. Umumnya persoalan yang menyangkut tanah dasar adalah sebagai berikut:

- a. Perubahan bentuk tetap (deformasi permanen) dari macam tanah tertentu akibat beban lalu lintas.
- b. Sifat mengembang dan menyusut dari tanah tertentu akibat perubahan kadar air.
- c. Daya dukung tanah yang tidak merata dan sukar ditentukan secara pasti pada daerah dengan jenis tanah yang sangat berbeda sifat dan kedudukannya, atau akibat perkerasannya
- d. Lendutan selama dan sesudah pembebanan lalu lintas dari macam tanah tertentu.
- e. Tambahan pemadatan akibat pembebanan lalu lintas dan penurunan yang diakibatkannya, yaitu pada tanah berbutir kasar yang tidak dipadatkan secara baik pada pelaksanaannya

## 2. Lapisan Pondasi Bawah (*Sub Base Course*)

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

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

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

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

Fungsi pondasi atas adalah sebagai berikut:

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

c. Bantalan terhadap lapisan pondasi bawah.

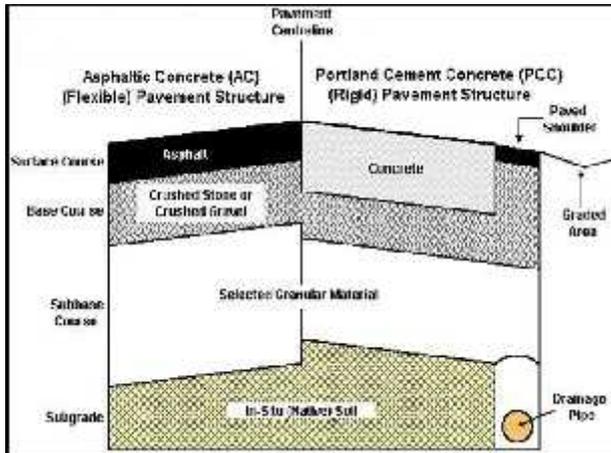
#### 4. Lapisan Permukaan (*Surface Course*)

Lapisan permukaan adalah lapisan yang terletak paling atas fungsinya adalah sebagai berikut :

- a. Lapisan perkerasan penahan beban roda, lapisan yang mempunyai stabilitas yang tinggi untuk menahan roda selama masa pelayanan.
- b. Lapisan kedap air, sehingga air hujan yang jatuh di atasnya tidak meresap ke lapisan dibawahnya.
- c. Lapisan aus, lapisan yang menderita gesekan akibat rem kendaraan sehingga mudah menjadi aus.
- d. Lapisan yang menyebarkan beban ke lapisan bawah, sehingga lapisan bawah yang memiliki daya dukung lebih kecil akan menerima beban yang kecil juga. Penggunaan lapisan aspal diperlukan agar lapisan dapat bersifat kedap air, disamping itu bahan aspal sendiri memberikan tegangan tarik, yang berarti mempertinggi daya dukung lapisan terhadap beban terhadap beban roda lalu lintas. Pemilihan bahan untuk lapisan permukaan perlu dipertimbangkan kegunaan, umur rencana serta pentahapan konstruksi agar tercapai manfaat yang sebesar-besarnya dari biaya yang dikeluarkan.

#### 2.1.2 Material Perkerasan

Perkerasan lentur terdiri dari lapisan permukaan *hot mix asphalt* di atas lapisan pondasi (*base course*) dan jika diperlukan akibat kondisi tanah dasar di atas lapisan pondasi bawah (*subbase course*). Keseluruhan susunan struktur perkerasan tersebut sepenuhnya didukung oleh tanah dasar (*subgrade*). Definisi atas fungsi masing-masing lapisan perkerasan lentur dapat diuraikan sebagai berikut :



**Gambar 2.1 Struktur lapisan Perkerasan**

(sumber: <http://www.tc.gc.ca/eng/civilaviation/standards/international technicalpavement-important-3991.htm>)

### 1. Lapisan Permukaan

Untuk lapisan permukaan digunakan item P-401 HMA (*Hot Mix Asphalt*) Item ini terdiri dari agregat mineral dan material aspal yang dicampur di dalam satu *central mixing plant*. Pencampuran yang dilakukan harus sesuai dengan spesifikasi yang disyaratkan. Adapun materi yang digunakan adalah agregat, mineral pengisi dan material aspal.

### 2. Lapisan Pondasi Atas.

Lapisan pondasi atas terdiri dari material berbutir dengan bahan pengikat misalnya semen dengan *portland* atau aspal, atau bahan pengikat. Spesifikasi terkait dengan komponen, gradasi, control manipulasi dan persiapan berbagai material pondasi yang digunakan di bandara untuk beban 30.000 lbs (13.608 kg) atau lebih adalah sebagai berikut:

- a. Item P-209 – (*Crushed Aggregate Base Course*)
- b. Item P-211 – (*Lime Rock Base Course*)

c. Item P-304 – (*Cement Treated Base Course*)

d. Item P-306 – (*Econocrete Subbase Course*)

Penggunaan jenis P-209, sebagai material pondasi terbatas untuk perkerasan yang didesain untuk beban kotor 100.000 lbs (45.359 kg).

3. Lapis Pondasi Bawah (*Subbase Course*).

Lapisan pondasi bawah terdiri dari bahan batu yang dipecah dulu atau yang alamiah. Spesifikasi terkait dengan kualitas komponen, gradasi, kontrol manipulasi dan persiapan dari berbagai tipe lapisan pondasi bawah yang digunakan pada bandara untuk beban rencana 30.000 lbs (13.608 kg) adalah sebagai berikut:

a. Item P-154 – (*Subbase Course*)

b. Item P-208– (*Aggregate Base Course*)

c. Item P-210 –(*Caliche Base Course*)

d. Item P-212 – (*Shell Base Course*)

e. Item P-213 – (*Sand Clay Base Course*)

f. Item P-301 – (*Soil Cement Base Course*)

4. Tanah Dasar.

Lapisan tanah dasar mendapat tegangan paling kecil dibanding lapisan permukaan, pondasi dan pondasi bawah. Tegangan di lapis tanah dasar dikontrol pada bagian atas tanah dasar, kecuali jika ada kondisi tak biasa. Kemampuan partikel tanah untuk menahan regangan dan penurunan bervariasi menurut kepadatan dan kadar air. DCP atau *Dynamic Cone Penetrometer* adalah alat yang digunakan untuk mengukur daya dukung tanah dasar langsung di tempat. Daya dukung tanah dasar tersebut diperhitungkan berdasarkan pengolahan atas hasil test DCP yang dilakukan dengan cara mengukur berapa dalam (mm) ujung konus masuk ke dalam tanah dasar tersebut setelah mendapat tumbukan palu geser pada landasan batang utamanya. Korelasi antara banyaknya tumbukan dan penetrasi ujung konus dari alat DCP ke dalam tanah akan

memberikan gambaran kekuatan tanah dasar pada titik-titik tertentu. Makin dalam konus yang masuk untuk setiap tumbukan artinya makin lunak tanah dasar tersebut. Pengujian dengan menggunakan alat DCP akan menghasilkan data yang setelah diolah akan menghasilkan CBR lapangan tanah dasar pada titik yang ditinjau. Peralatan dan perlengkapan pengujian adalah sebagai berikut:

- Sebuah palu geser dengan berat 8,0 kg, dan dengan tinggi jatuh 57,5 cm. Palu geser akan bergerak jatuh sepanjang batang baja  $\varnothing$  20 mm untuk memukul suatu landasan.
- Sebuah batang utama baja keras (*standard shaft*) dengan  $\varnothing$  20 mm, panjang 100 cm yang disambungkan dengan konus yang terbuat dari baja keras sudut 600 atau 300 dan bergaris tengah terbesar 20 mm. Pada batang baja tersebut telah pula dibuatkan skala dalam mm untuk membaca setiap masuknya ujung konus ke dalam tanah.
- Sebuah batang kedua baja keras (*hammer shaft*) dengan  $\varnothing$  20 mm, panjang minimum 72 cm, sebagai batang geser palu. Perlengkapan lainnya yang dibutuhkan sebagai alat-alat pendukung adalah: meter, cangkul dan singkup kecil, belincong, dan linggis. Pengujian dengan alat DCP dilakukan sebagai berikut:
  - Ukuran lubang bergaris tengah 20 cm
  - Pilih titik-titik uji di as landasan baru atau jalan yang akan direkonstruksi, kemudian cari posisi *subgrade* sesuai dengan *plan & profile* atau pra rencana landasan untuk mengetahui dimana posisi alat DCP harus diletakkan sebelum pengujian dimulai.
  - Galian dilakukan sampai posisi tepi atas *subgrade*. Sampel tanah dasar untuk pengujian CBR diuji dalam laboratorium untuk menentukan nilai CBR. Pengujian dilakukan dengan melakukan pemadatan dengan kadar air tertentu. Dalam penentuan nilai CBR, apabila pada tiap area yang dari sampel tanah didapat nilai CBR yang berbeda, maka

perencanaan tebal perkerasan ditentukan berbeda-beda sesuai dengan nilai CBR dari tanah pada area tersebut.

## **2.2 Karakteristik Pesawat**

Sebelum merancang struktur suatu perkerasan lapangan terbang, dibutuhkan pengetahuan karakteristik pesawat terbang secara umum untuk memahami beban yang bekerja pada perkerasan tersebut.

### **2.2.1 Kondisi Fisik Pesawat**

Istilah-istilah yang ada di dalam suatu pesawat terbang, diantaranya :

#### **1. *Wingspan***

*Wingspan* adalah panjang bentang sayap utama dari kiri ke kanan yang berguna untuk menentukan daerah bebas di kanan dan kiri lintasan. Setiap pesawat memiliki panjang *Wingspan* yang berbeda-beda tergantung jenis dan ukuran pesawatnya.

#### **2. *Outer Main Gear Wheel Span (OMGWS)***

OMGWS adalah jarak antara roda utama bagian kanan dan kiri pesawat. Besarnya OMGWS dalam perencanaan bandar udara ini dipakai untuk menghitung lebar lintasan.

#### **3. *Fuselage Length***

*Fuselage length* adalah panjang pesawat dari ujung depan pesawat hingga ujung ekor pesawat. Dalam perencanaan berguna untuk menentukan belokan.

#### **4. *Wheel Base***

*Wheel Base* adalah jarak antara roda depan dengan roda belakang pesawat yang mempengaruhi tekanan pada struktur perkerasan landasan pacu.

#### **5. Konfigurasi Roda Pesawat**

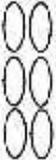
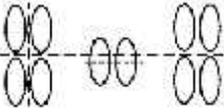
Konfigurasi roda pendaratan menunjukkan jumlah roda pesawat yang dimiliki oleh pesawat serta letaknya yang

pengaruhnya nanti adalah distribusi beban ke landasan pacu. Adapun macam-macam konfigurasi roda pesawat dapat dilihat dibawah ini:

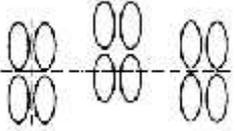
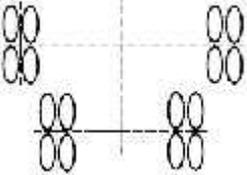
Tabel 2.1 Konversi standar Persamaan untuk Konfigurasi Sumbu Pesawat (Sumber: AC 150/5320/6E)

Gear Designation	Gear Designation	Airplane Example
S	 Single	Single Whl-45
D	 Dual	B737-100
2S	 2 Singles in tandem	C-130
2D	 2 Duals in Tandem	B767-200

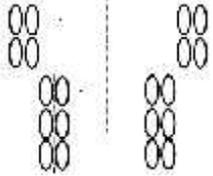
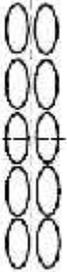
Tabel 2.1 Lanjutan

3D	 <p>2 Duals in Tandem</p>	B777-200
2T	 <p>Two Triple Wheels in Tandem</p>	C-17A
Gear Designation	Gear Designation	Airplane Example
2D/D1	 <p>Two Dual Wheels in Tandem main gear/Dual Wheel Body Gear</p>	DC10-30/40

Tabel 2.1 Lanjutan

<p>2D/2D1</p>	 <p>2D/2D1 Two Dual Wheels in Tandem Main Gear/Two Dual Wheels in tandem Body Gear</p>	<p>A340-600 std</p>
<p>2D/2D2</p>	 <p>Two Dual Wheels In Tandem Main Gear/Two Dual in Tandem Body Gear</p>	<p>B747-400</p>

Tabel 2.1 lanjutan

2D/3D2	 <p data-bbox="441 475 687 639">Two Dual Wheels in tandem Main Gear/Three Dual Wheels in Tandem Body Gear</p>	A380-800
Gear Designation	Gear Designation	Airplane Example
5D	 <p data-bbox="441 1058 687 1118">Five Dual Wheels in Tandem Main Gear</p>	An-124

(sumber: FAA AC No:150/5320-6E *Airport Pavement Design And Evaluation*)

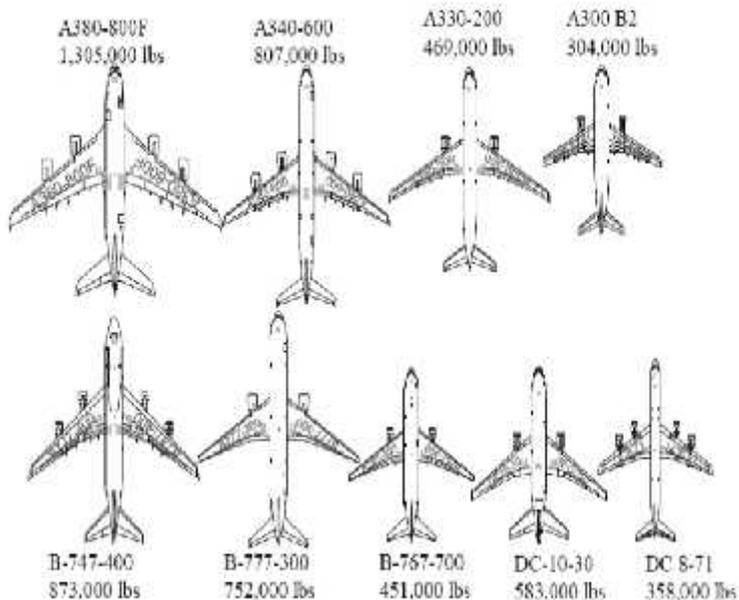
### 2.2.2 Berat Pesawat

Dalam suatu pesawat terbang, ada beberapa hal istilah yang perlu diketahui mengenai berat pesawat yang akan mempengaruhi juga dalam perhitungan perkerasan, yaitu :

1. *Operating Weight Empty (OWE)*  
*Operating weight empty* adalah beban utama pesawat, termasuk awak pesawat dan konfigurasi roda pesawat tetapi tidak termasuk muatan dan bahan bakar
2. *Payload*  
*Payload* adalah beban pesawat yang diperbolehkan untuk diangkat oleh pesawat sesuai dengan persyaratan angkut pesawat. Secara teoritis beban maksimum ini merupakan perbedaan antara berat bahan bakar kosong dan berat operasi kosong.
3. *Zero Fuel Weight*  
*Zero fuel weight* adalah batasan berat, spesifik pada setiap jenis pesawat, diatas batasan berat itu ditambahkan berat bahan bakar, sehingga ketika pesawat sedang terbang, tidak terjadi momen lentur yang berlebihan pada sambungan, beban maksimum yang terdiri dari berat operasi kosong, beban penumpang dan barang.
4. *Maximum Structural Take-Off Weight (MTOW)*.  
MTOW adalah beban maksimum pada awal lepas landas sesuai dengan bobot pesawat dan persyaratan kelayakan penerbangan. Beban ini meliputi berat operasi kosong, bahan bakar dan cadangan (tidak termasuk bahan bakar yang digunakan untuk melakukan gerakan awal) dan muatan (*payload*).
5. *Maximum Structural Landing Weight*  
*Maximum Structural Landing Weight* adalah beban maksimum pada saat roda pesawat menyentuh lapis perkerasan (mendarat) sesuai dengan bobot pesawat dan persyaratan kelayakan penerbangan.

### 2.2.3 Jenis Pesawat

Di bawah ini adalah gambar bentuk pesawat serta ukuran dari pesawat yang akan direncanakan dalam perhitungan perkerasan landasan pacu.



Gambar 2.2 Tipe pesawat dan berat pesawat  
(Sumber : horonjeff, 1994)

Gambar 2.2 menunjukkan gambaran perbedaan ukuran beberapa pesawat. Dari gambar tersebut dapat diperkirakan bahwa berat pesawat juga bervariasi. Data berat beberapa pesawat disajikan pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Karakteristik Pesawat

Aircraft	Manufacturer	Program	Length	Wing Span	MSLW (lb)	MTW (lb)	Runway Length (ft)
A-380-800	Airbus Industrie	261'08"	130'03"	80'08"	1,235,000	850,000	10,000
A-330-300	Airbus Industrie	197'10"	183'7"	53'2"	509,047	396,900	7,180
A-300-600	Airbus Industrie	141'01"	170'00"	61'01"	363,760	304,240	7,000
A-310-300	Airbus Industrie	144'00"	153'01"	49'11"	330,690	271,170	7,575
A-300 B1	Airbus Industrie	141'31"	173'3"	48'5"	319,041	335,000	7,000
A-320-200	Airbus Industrie	111'05"	123'03"	41'05"	158,730	134,430	5,620
A-340-200	Airbus Industrie	197'10"	185'00"	62'11"	558,900	398,000	7,600
B-727-200	Boeing	108'00"	103'02"	63'03"	181,800	150,000	8,600
B-737-300	Boeing	94'00"	100'00"	47'04"	100,000	90,000	6,000
D-737-300	Boeing	94'00"	100'00"	47'04"	100,000	110,000	6,000
B-737-400	Boeing	94'00"	100'00"	47'04"	138,500	121,000	7,000
B-737-500	Boeing	94'00"	101'00"	47'04"	115,500	110,000	7,000
B-737-600	Boeing	105'08"	131'00"	61'00"	170,000	260,000	9,500
B-737-700R	Boeing	105'08"	131'00"	61'00"	170,000	264,000	11,700
B-747-400	Boeing	195'08"	141'00"	84'00"	710,000	564,000	7,000
D-747-400	Boeing	195'00"	131'00"	84'00"	870,000	574,000	5,800
B-747-200	Boeing	195'08"	184'00"	87'04"	640,000	400,000	6,600
D-757-200	Boeing	124'10"	153'03"	59'00"	220,000	190,000	8,600
D-767-200	Boeing	158'01"	158'02"	67'04"	315,000	272,000	8,700
B-767-300	Boeing	158'01"	180'03"	71'08"	300,000	300,000	10,000
D-777-200	Boeing	199'11"	209'01"	84'11"	323,000	445,000	5,530
DC-8-73	McDonnell-Douglas	118'05"	137'05"	77'06"	359,000	253,000	7,700
DC-9-31	McDonnell-Douglas	93'04"	110'04"	54'01"	110,000	110,000	7,000
DC-9-51	McDonnell-Douglas	93'04"	133'07"	59'11"	121,000	110,000	7,600
MD-81	McDonnell-Douglas	107'10"	147'10"	72'05"	140,000	128,000	6,800
MD-82	McDonnell-Douglas	107'10"	140'01"	58'11"	149,500	130,000	9,800
MD-80-30	McDonnell-Douglas	107'10"	132'07"	77'02"	156,000	142,000	9,200
DC-10-10	McDonnell-Douglas	158'01"	182'03"	72'05"	658,000	363,000	14,000
DC-10-30	McDonnell-Douglas	163'04"	182'03"	72'05"	570,000	404,000	9,800
DC-10-40	McDonnell-Douglas	163'04"	182'03"	72'05"	558,000	403,000	9,200
MD-11	McDonnell-Douglas	173'06"	161'04"	80'09"	603,500	430,000	6,600
L-1011-110	Lockheed	164'04"	164'03"	61'08"	510,000	363,000	7,000
Boeing-737-300	Boeing Aerospace	93'05"	107'00"	47'05"	119,048	106,127	11,000
F-100	Fokker	92'05"	110'52"	45'95"	101,000	88,000	5,000
F-78-1000	Fokker	77'4"	89'51"	58'99"	66,500	444,44	5,000
F-78-4000	Fokker	87'0"	97'00"	43'11"	78,000	60,500	10,000
Single Wheel-30	Single Wheel	70'0"	84'8"	30'1"	300,000	300,000	3,000

(Sumber : *Planning & Design of Airport*, Robert Horonjeft, Francis X Mc Kelvey)

\*MSTOW = *Maximum Structural Take Off Weight*; MLW = *Maximum Landing Weight*

Tabel 2.2 memberikan gambaran karakteristik pesawat yang digunakan dalam perencanaan bandara. Dapat dilihat dari tabel tersebut bahwa untuk jenis pesawat yang sama, karakteristik yang dimiliki bisa berbeda. Perbedaan ini dimungkinkan untuk memenuhi permintaan maskapai penerbangan.

## 2.3 Metode Perhitungan Perkerasan

Ada beberapa metode perencanaan perkerasan landasan pacu yaitu metode CBR, metode FAA, dan metode ICAO. Namun yang akan dijelaskan pada tugas akhir ini adalah metode FAA. Untuk menghasilkan desain perkerasan yang aman dan terjamin ada beberapa pertimbangan bahan untuk dalam desain perkerasan landasan pacu yaitu sebagai berikut:

- a. Prosedur pengujian bahan untuk subgrade dan komponen-komponen lainnya harus akurat dan teliti.
- b. Metode yang dipakai harus sudah dapat diterima umum dan sudah terbukti telah menghasilkan desain perkerasan yang memuaskan.
- c. Dapat dipakai untuk mengatasi persoalan-persoalan perkerasan landasan pacu dalam waktu yang relatif singkat.

### 2.3.1 Metode FAA Perkerasan Lentur Cara Grafis

Metode perencanaan FAA yang dibahas pada bab ini adalah metode perencanaan yang mengacu pada standar perencanaan perkerasan FAA *Advisory Circular (AC) No.150\_5320\_6D*. Metode ini adalah pengembangan perencanaan berdasarkan metode CBR. Perencanaan konstruksi perkerasan dengan menggunakan grafik-grafik, tabel-tabel, yang telah dibuat berdasarkan hasil pengamatan yang telah ada. Pada perhitungan dengan metoda yang mengacu pada *Advisory Circular (AC) No. 150\_5320\_6D*, telah mengeluarkan grafik-grafik (dilampirkan dalam lampiran D hal L20-L29) yang berisi hubungan keberangkatan tahunan desain, berat pesawat kotor, nilai CBR (*California Bearing Ratio*) dengan ketebalan lapisan perkerasan.

#### 1. Klasifikasi Tanah

Metode yang dikembangkan oleh *Federal Aviation Administration (FAA)* ini pada dasarnya menggunakan statistik perbandingan kondisi lokal dari tanah, sistem drainase dan cara pembebanan untuk berbagai tingkah laku beban. FAA telah membuat klasifikasi tanah, untuk perencanaan

perkerasan yang dibagi dalam 13 kelas dari E1 sampai E13. Klasifikasi dari *Airport Paving FAA, Advisory Circular*, adalah sebagai berikut :

a. Kelas E1

Adalah jenis tanah yang mempunyai gradasi tanah yang baik, kasar, butiran-butiran tanahnya tetap stabil walaupun sistem drainasenya tidak baik.

b. Kelas E2

Jenis tanah mirip grup E1, tetapi kandungan pasirnya lebih sedikit, dan mungkin mengandung presentase lumpur dan tanah liat yang lebih banyak. Tanah dalam kelas ini bisa menjadi tidak stabil apabila sistem drainasenya tidak baik.

c. Kelas E3 dan E4

Terdiri dari tanah yang berbutir halus, tanah berpasir dengan gradasi lebih jelek dibanding dengan grup E1 dan E2. Grup ini terdiri dari pasir berbutir halus tanpa daya kohesi, atau tanah liat berpasir dengan kualitas pengikatan mulai dari cukup sampai baik.

d. Kelas E5

Terdiri dari tanah yang bergradasi yang kurang baik, dengan kandungan lumpur dan tanah liat campuran lebih dari 35% tetapi kurang dari 45%.

e. Kelas E6

Terdiri dari lumpur yang berpasir dengan indeks plastisitas yang sangat rendah. Jenis ini relatif stabil bila kering atau pada *moisture content* rendah. Stabilitasnya akan kurang bahkan hilang dan menjadi sangat lembek dalam keadaan basah, maka sangat sukar dipadatkan kecuali jika *moisture content* dikontrol dengan sangat teliti sesuai kebutuhan.

f. Kelas E7

Termasuk didalamnya tanah liat berlumpur, tanah liat berpasir, pasir berlempung dan lumpur berlempung, mempunyai rentangan konsistensi kaku sampai lunak ketika kering dan plastis ketika basah.

- g. Kelas E8  
Mirip dengan E7, tetapi pada *liquid limit* yang lebih tinggi akan menghasilkan derajat penempatan yang lebih besar, pengembangan pengerutan dan stabilitas yang lebih rendah dibawah kondisi kelembaban yang kurang menguntungkan.
- h. Kelas E9  
Terdiri dari campuran lumpur dan tanah liat sangat elastis dan sangat sulit dipadatkan. Stabilitasnya rendah, baik keadaan basah dan kering.
- i. Kelas E10  
Adalah tanah liat yang berlumpur dan tanah liat yang membentuk gumpalan keras dalam keadaan kering, serta sangat pastis bila basah. Pada masa pemadatan perubahan volumenya sangat besar, mempunyai kemampuan mengembang menyusut dan sangat elastis.
- j. Kelas E11  
Mirip dengan tanah grup E10, tetapi mempunyai *liquid limit* yang lebih tinggi, termasuk didalamnya tanah dengan *liquid limit* antara 70-80, dengan *index* plastisitas diatas 30.
- k. Kelas E12  
Jenis tanah yang mempunyai *liquid limit* di atas 80, tidak diukur berapapun *index* plastisitasnya.
- l. Kelas E13  
Meliputi semua jenis tanah rawa organik, seperti gambut, mudah dikenal di lapangan. Dalam keadaan asli, sangat rendah stabilitasnya, sangat rendah *density* dan sangat tinggi kelembabannya.

Tabel 2.3 Klasifikasi Tanah Dasar untuk Perencanaan Perkerasan oleh FAA

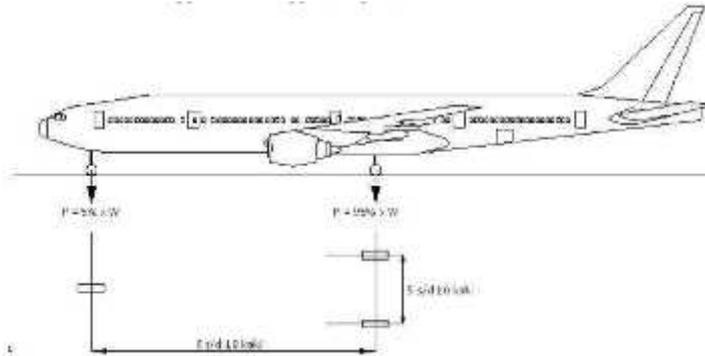
Kelas Tanah	Analisa saringan				Liquid Limit	Plasticity index	Subgrade Class	
	% Bahan tersisa saringan no.10	% Bahan lebih kecil dari saringan no.10					Drainase Baik	Drainase Jelek
		Pasir kasar lolos saringan no.10 tapi ditahan saringan no.40	Pasir halus lewat saringan no.40 ditahan no.200	Campuran lumpur dan tanah liat lolos no.200				
Kerikil								
E1	0-45	40	60	15	25	6	Fa / Fa	Fa / Ra
E2	0-45	15	85	25	25	6	Fa / Ra	F1 / Ra
E3	0-45			25	25	6	F1 / Fa	F2 / Rb
E4	0-45			35	35	10	F1 / Fa	F3 / Rb
Butiran Halus								
E5	0-55			45	40	15		F3 / Rb
E6	0-55			45	40	10		F4 / Rc
E7	0-55			45	50	10-30		F5 / Rc
E8	0-55			45	60	15-40		F6 / Rc
E9	0-55			45	40	30		F7 / Rd
E10	0-55			45	70	20-50		F8 / Rd
E11	0-55			45	80	30		F9 / Re
E12	0-55			45	80			F10 / Fa
E13	Tanah dembur, tidak bisa digunakan							

(Sumber : Basuki 1986)

## 2. Menentukan tipe roda pendaratan utama

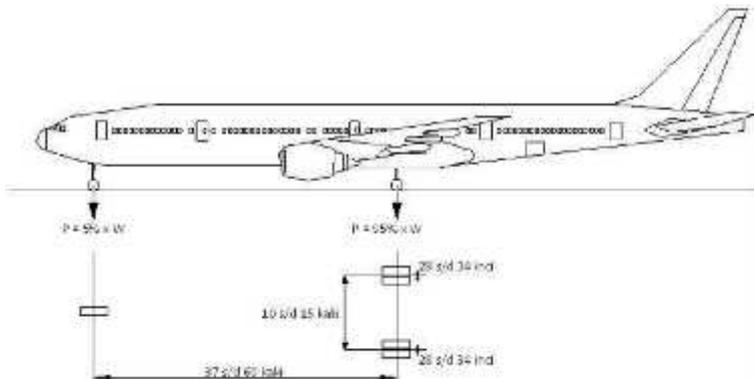
Penentuan tebal perkerasan harus menggunakan *maximum takeoff weight*. Perancangan tebal perkerasan lentur dengan anggapan 95% *gross weight* oleh *main gear* dan 5% sisanya diterima oleh *nose gear*.

a. Sumbu Tunggal Roda Tunggal (*single*)



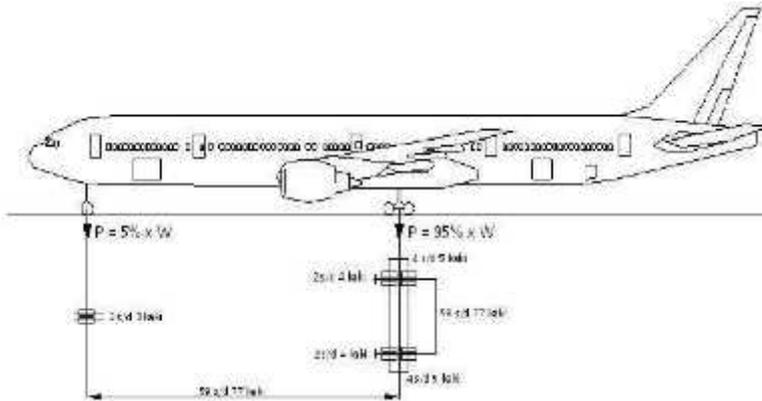
Gambar 2.3 Konfigurasi Roda Pendaratan Untuk Pesawat Roda Tunggal  
(Sumber : Yang, 1984)

b. Sumbu tunggal Roda Ganda (*Dual wheel*)



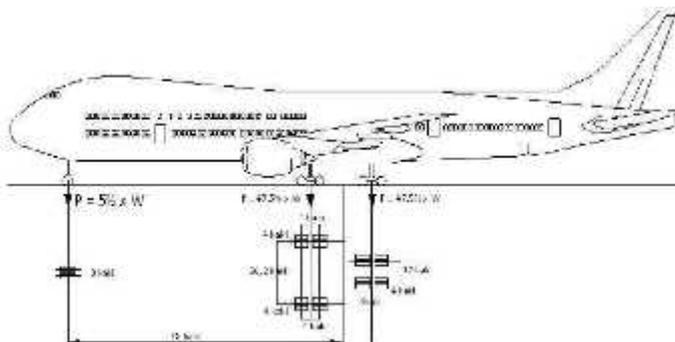
Gambar 2.4 Konfigurasi Roda Pendaratan Untuk Pesawat Roda Ganda  
(Sumber : Yang, 1984)

c. Sumbu Tandem Roda Ganda (*Dual Tandem*)



Gambar 2.5 Konfigurasi Roda Pendaratan Untuk Pesawat Roda Tandem Ganda  
(Sumber : Yang, 1984)

d. Sumbu Tandem Roda Ganda Ganda (DDT)



Gambar 2.6 Konfigurasi Roda Pendaratan Untuk Pesawat Roda Ganda  
(Sumber : Yang, 1984)

### 3. Menentukan pesawat rencana

Untuk menentukan pesawat rencana dapat dilakukan dengan menghitung frekuensi pesawat yang beroperasi di suatu Bandara dan besar MSTOW (*Maximum Struktural Take Off Weight*). Kemudian dipilih jenis pesawat yang menghasilkan tebal perkerasan yang paling besar. Pemilihan pesawat rencana ini pada dasarnya bukanlah berasumsi harus berbobot paling besar, tetapi jumlah keberangkatan yang paling banyak melalui landasan pacu. Pesawat rencana kemudian ditetapkan sebagai pesawat yang membutuhkan tebal perkerasan yang paling besar dan tidak perlu pesawat yang paling besar yang beroperasi di dalam bandar udara. Karena pesawat yang beroperasi di Bandara memiliki angka keberangkatan tahunan yang berbeda-beda, maka harus ditentukan keberangkatan tahunan ekivalen dari setiap pesawat dengan konfigurasi roda pendaratan dari pesawat rencana.

### 4. Menentukan Beban Roda Pendaratan Utama Pesawat (W2)

Untuk pesawat berbadan lebar yang dianggap mempunyai MTOW cukup tinggi dengan roda pendaratan utama tunggal dalam perhitungan *Equivalent Annual Departure* (R1) ditentukan beban roda tiap pesawat, 95% berat total dari pesawat ditopang oleh roda pendaratan utama, dalam perhitungan dengan menggunakan rumus : (sumber : Ir. Basuki, 1986)

$$W2 = MTOW \times P \times \frac{1}{A} \times \frac{1}{B} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :

MTOW = Berat kotor pesawat saat lepas landas

A = Jumlah konfigurasi roda

B = Jumlah roda per satu konfigurasi

P = Persentase beban yang diterima roda pendaratan utama

W2 = Beban roda pendaratan dari masing-masing jenis pesawat.

## 5. 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 dengan equivalent annual departure dari pesawat-pesawat campuran, sehingga dapat disimpulkan bahwa perhitungan ini berguna untuk mengetahui total keberangkatan keseluruhan dari bermacam pesawat yang telah dikonversikan ke dalam pesawat rencana. Untuk menentukan R1 dapat dihitung dengan menggunakan persamaan : (sumber : Ir. Basuki, 1986)

$$\text{Log R1} = (\text{Log R}_2) \left( \frac{w_1}{w_2} \right)^{0,5} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

R1 = keberangkatan tahunan ekuivalen oleh pesawat rencana.

R2 = jumlah keberangkatan tahunan oleh pesawat berkenaan dengan konfigurasi roda pendaratan rencana.

W1 = beban roda dari pesawat desain.

W2 = beban roda dari pesawat yang harus dirubah.

Pesawat berbadan lebar mempunyai konfigurasi roda pendaratan utama yang berbeda dengan pesawat kecil, 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 ekuivalen (Equivalent Annual Departure,R1).

Tabel 2.4 Faktor Konversi Keberangkatan Ekuivalen

Poros roda pendaratan pesawat sebenarnya	Poros roda pendaratan pesawat sebenarnya	Faktor pengali untuk keberangkatan ekuivalen
Roda Tunggal	Roda Ganda	0,8
	Tandem Ganda	0,5
Roda Ganda	Roda Ganda	1,3
	Tandem Ganda	0,6
Tandem Ganda	Roda Tunggal	2
	Roda Ganda	1,7
Tandem berganda Dua	Roda Ganda	1,7
	Tandem Ganda	1

(Sumber : FAA, 1995)

## 6. Menentukan Susunan Tebal Perkerasan

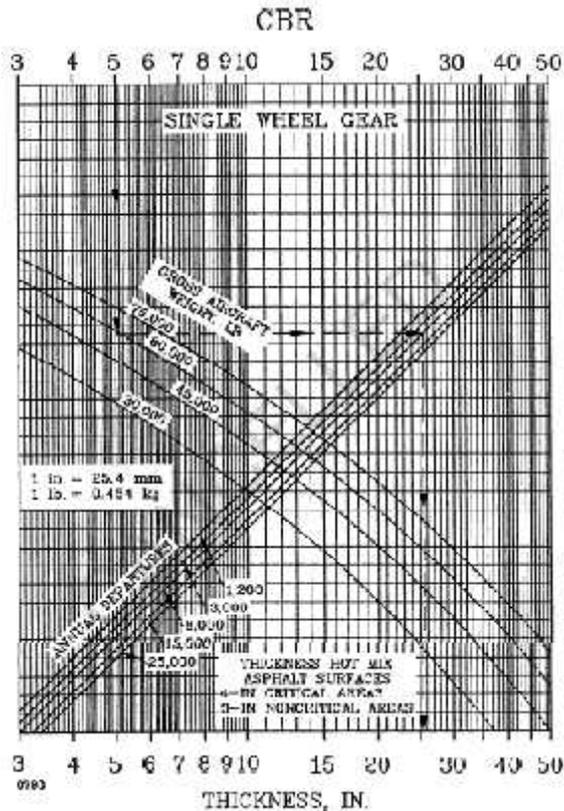
Perencanaan perkerasan yang dikembangkan oleh FAA ini adalah perencanaan untuk masa umur rencana, dimana selama masa layan tersebut harus tetap dilakukan pemeliharaan secara berkala. Pada tahapan ini, data-data awal seperti CBR tanah dasar, CBR Subbase, dan Equivalent Departure dijadikan input untuk menentukan tebal perkerasan. Data tersebut diatas dimasukkan pada kurva rencana yang telah sesuai standar FAA sehingga menghasilkan tebal perkerasan yang nantinya perlu dikoreksi, perhitungan secara detail dijelaskan sebagai berikut:

### a. Tebal Perkerasan Total

Tebal perkerasan total dihitung dengan memplotkan data CBR *Subgrade*, MTOW (*Maximum Take Off Weight*) pesawat rencana, dan nilai *Equivalent Annual Departure* ke dalam grafik 2.7 penentuan tebal perkerasan untuk pesawat rencana. 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 (tebal pondasi bawah + tebal pondasi atas + tebal lapisan permukaan). Nilai CBR tanah dasar digunakan bersama-sama dengan berat lepas landas kotor dan keberangkatan tahunan ekuivalen dari pesawat rencana. Beban lalu lintas pesawat pada umumnya akan disebar pada daerah lateral dari permukaan 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.
- 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.



Gambar 2.7 Grafik Perencanaan Perkerasan Lentur  
(Sumber : FAA, 1995)

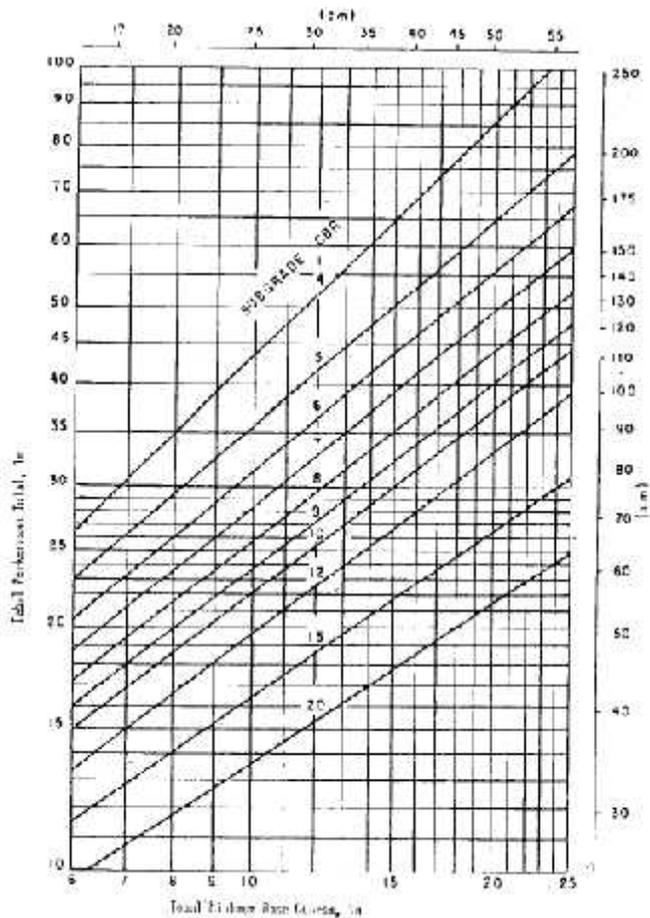
Grafik perencanaan digunakan dengan memulai menarik garis lurus dari sumbu CBR, ditentukan secara vertikal ke kurva berat lepas landas kotor (MSTOW), kemudian diteruskan ke arah horizontal ke kurva keberangkatan tahunan ekuivalen dan akhirnya diteruskan vertikal ke sumbu tebal perkerasan dan tebal total perkerasan didapat.

b. Menentukan tebal perkerasan *Subbase*

Dengan nilai CBR *Subbase* yang ditentukan, MTOW dan *Equivalent Annual Departure* maka dari grafik 2.14 didapat harga yang merupakan tebal lapisan diatas *subbase*, yaitu lapisan *surface* dan lapisan *base*. Maka, tebal *Subbase* sama dengan tebal perkerasan total dikurangi tebal lapisan diatas *subbase*.

c. Tebal perkerasan *Base Course*

Tebal *Base Course* sama dengan tebal lapisan diatas *Subbase Course* dikurangi tebal lapisan permukaan (*Surface Course*). Hasil ini harus dicek dengan membandingkannya terhadap tebal *Base Course* minimum dari grafik. Apabila tebal *Base Course* minimum lebih besar dari *Base Course* hasil perhitungan, maka selisihnya diambil dari lapisan *Subbase Course*, sehingga tebal *Subbase Course* berubah



Gambar 2.8 Grafik Penentuan Tebal *Base Course* Minimum.

(Sumber : Basuki, 1986)

Gambar diatas merupakan cara penentuan nilai ketebalan lapisan pondasi atas (*base course*), yang dipengaruhi oleh nilai ketebalan total perkerasan dan nilai CBR lapisan tanah dasarnya.

Tabel 2.5 Tebal minimum *base course*

<i>Design Aircraft</i>	<i>Design Load Range</i>		<i>Minimum Base Course Thickness</i>	
	(Pound)	(kg)	(in)	(mm)
<i>Single Wheel</i>	30.000-50.000	13.600-22.700	4	100
	50.000-70.000	22.700-34.000	6	150
<i>Dual Wheel</i>	50.000-100.000	22.700-45.000	6	150
	100.000-200.000	45.000-90.700	8	200
<i>Dual Wheel</i>	100.000-250.000	45.000-113.400	6	150
	250.000-400.000	113.400-181.000	8	200
<i>B-757</i> <i>B-767</i>	200.000-400.000	90.700-181.000	6	150
<i>DC-10</i> <i>L101 I</i>	400.000-600.000	181.000-272.000	8	200
<i>B-747</i>	400.000-600.000	181.000-272.000	6	150
	600.000-850.000	272.000-385.000	8	200
<i>C-130</i>	75.000-125.000	34.000-56.700	4	100
	12.500-175.000	56.700-79.400	6	150

(Sumber: FAA, 1995)

Grafik perencanaan grafik 2.7 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 di table 2.4 dibawah ini:

Tabel 2.6 Index perkalian *Annual Depature* diatas 25000

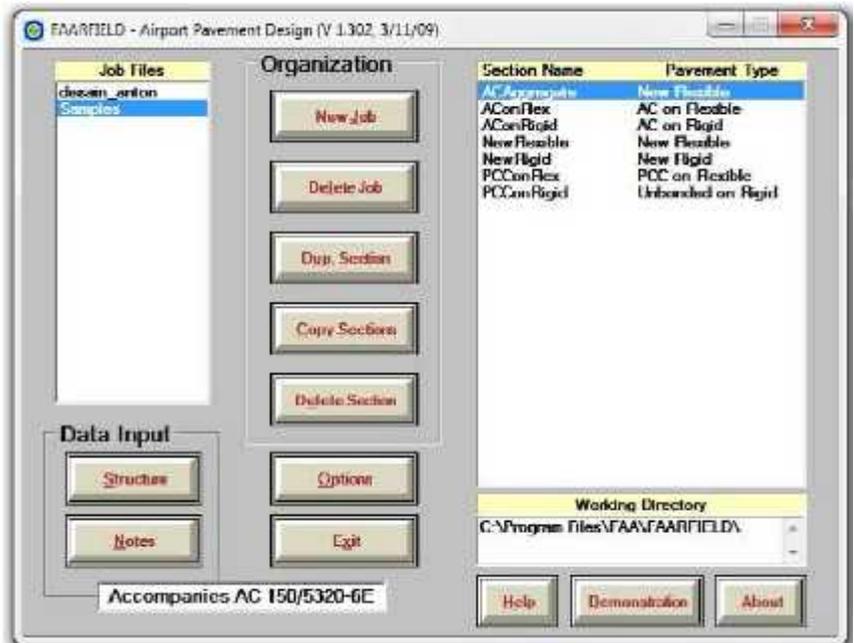
Tingkat Keberangkatan Tahunan	%Total Keberangkatan Tahunan >25.000
50.000	104
100.000	108
150.000	110
200.000	112

(Sumber: FAA, 1995)

### 2.3.2 Perhitungan Perkerasan Menggunakan *Software FAARFIELD*

FAARFIELD (*Federal Aviation Administration Rigid and Flexible Iterative Elastic Layered Design*) merupakan suatu program komputer untuk mendesain tebal perkerasan lentur maupun kaku pada landasan pacu bandar udara. FAARFIELD juga dapat mendesain tebal *overlay* perkerasan lentur atau kaku. Prosedur perhitungan dan desain ketebalan dalam program ini berdasarkan metode FAA-AC No: 150/5320-6E.

Program ini meninjau dan menghitung kebutuhan setiap jenis pesawat, namun program ini terbatas untuk perhitungan lain seperti analisa mawar angin, dan geometrik landasan pacu.



Gambar 2.9 : Tampilan layar utama FAARFIELD  
(Sumber: FAA, 2009)

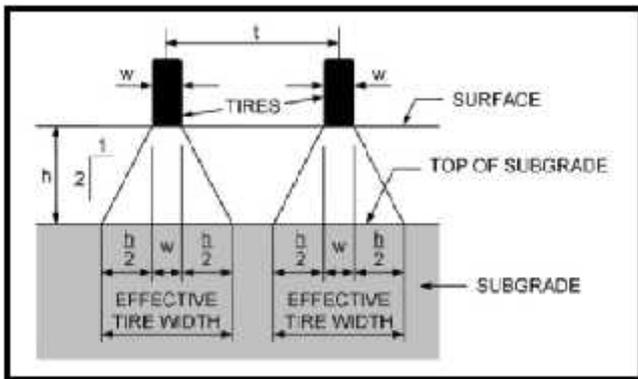
Prosedur perencanaan perkerasan sudah di implementasikan di dalam program FAA. FAARFIELD menerapkan prosedur *layer elastic* dan *finite element* untuk merencanakan perkerasan baru pada perkerasan lentur

1. Prinsip dasar perhitungan tebal perkerasan FAARFIELD yang didasarkan pada AC 150/5320-6E:
  - a. Masukkan semua pesawat yang beroperasi di Bandara dan tidak melakukan ekivalen pesawat ke pesawat rencana.
  - b. Jarak roda pendaratan utama setiap pesawat dari garis tengah landasan mempengaruhi tingkat kerusakan perkerasan akibat roda (*Cummulative Dammage Factor*).

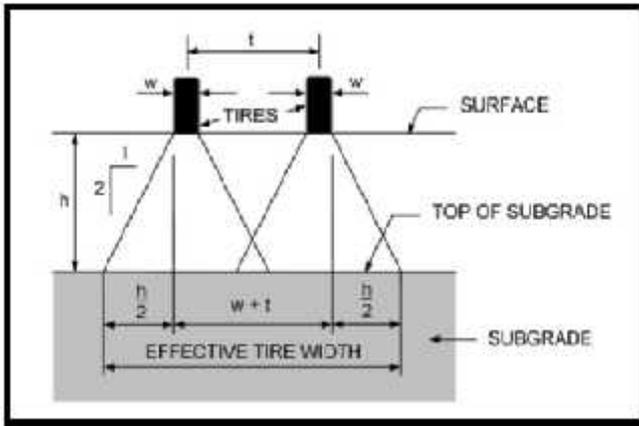
c. Konsep pesawat rencana tidak dipakai dalam FAARFIELD.

2. *Pass-to-coverage ratio* (PCR)

Rasio jumlah lintasan terhadap beban penuh per satuan luas perkerasan disebut sebagai *pass-to-coverage ratio*. Jumlah *coverages* harus diturunkan secara matematika berdasarkan PCR untuk masing-masing jenis pesawat. Secara definisi, satu *coverage* terjadi ketika satu satuan luas perkerasan mendapatkan respon maksimum regangan untuk perkerasan lentur akibat pesawat tertentu. Pada perkerasan lentur, *coverages* area diukur sebagai jumlah repetisi regangan maksimum yang terjadi di atas tanah dasar. Pada perkerasan lentur, untuk keruntuhan atas regangan di lapis tanah dasar, lebar efektif didefinisikan di atas tanah dasar. *Responses line* digambar dengan kemiringan 1:2 dari pinggir kontak hingga ke puncak tanah dasar, seperti diilustrasikan dalam Gambar 2.17 dan Gambar 2.18. Roda dipertimbangkan untuk kondisi terpisah atau kombinasi, bergantung pada overlap *response lines*. Semua perhitungan lebar efektif roda dan PCR dilakukan di dalam program FAARFIELD.



Gambar 2.10 Tekanan effective dua roda yang tidak overlap (sumber: FAA, 1995)



Gambar 2.11 Tekanan effective dua roda yang overlap (sumber: FAA, 1995)

Untuk perhitungan nilai *coverages* diperlukan nilai PCR (*pass to coverage ratio*) yang merupakan unit kerusakan ekuivalen yang terjadi di dalam struktur perkerasan yang disebabkan oleh setiap lintasan roda pesawat udara (Tabel 2.12). Nilai PCR dimaksudkan untuk memperhitungkan kemungkinan pergeseran jalur lintasan roda pesawat udara dalam arah lateral pada perkerasan. Sehingga,

$$\text{Coverages} = \frac{n \times \text{Total Equivalent Annual Departure}}{\text{PCR}} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana N = masa layan rencana (tahun)

Total *Equivalent Annual Departure* = jumlah pesawat (tahun)

PCR = pass to coverage ratio

Tabel 2.7 *Pass To Coverage Ratio*

No	Konfigurasi Sumbu Roda	PCR
1	Sumbu tunggal roda tunggal (S)	5.18
2	Sumbu Tunggal roda Ganda	3.48
3	Sumbu Tandem Roda Ganda (DT)	3.68
4	Sumbu Tandem Roda Double (DDT)	3.70

(Sumber : ICAO, 1983)

### 3. FAARFIELD Default Value

Tabel 2.8 Nilai standar pada *software* FAARFIELD

Layer	Item	Modulus (psi)	Poisson's Ratio
AC Surface	P-401/P-403	200.000	0.35
CTBSurface	P304	500.000	0.20
Aggregate Subbase	P208	43042	0.3
CTB (max)	P306	700.000	0.20
CTB (min)	P301	250.000	0.20

(Sumber: FAA, 2009)

## 2.4 Pertimbangan Perencanaan Perkerasan

Pada Subbab ini, dijelaskan pertimbangan metode perhitungan AC No. 150\_5320\_6d, dan perhitungan FAA AC No: 150/5320-6E Airport Pavement Design and Evaluation.

### a. Umur Rencana

Perencanaan FAA untuk perkerasan berdasarkan umur rencana dua puluh tahun, *software* FAARFIELD dapat digunakan untuk umur rencanan yang lain, namun penggunaan umur diluar dua puluh tahun akan memberikan standar deviasi FAA. Umur desain struktur perkerasan dijelaskan dibawah ini:

- Standar untuk umur rencana struktural adalah dua puluh tahunan.
- Umur rencana struktur mengindikasikan kinerja perkerasan yang disyaratkan menerima beban repetisi yang di ijinakan sebelum terjadi kerusakan pada subgrade.

- Usia struktur ditentukan dari kedatangan tahunan di kali dua puluh.
- Kondisi permukaan maupun keadaan berbahaya lainnya yang dapat mempengaruhi penggunaan perkerasan oleh pesawat tidak mewakili desain umum untuk rencana struktur.

b. Kombinasi lalu lintas

Kombinasi lalu lintas yang terjadi di landasan pacu diperhitungkan secara terpisah dan diakumulasikan sebagai beban yang tersendiri dengan masing-masing letak beban yang didistribusikan oleh roda pesawat. Pesawat rencana ditentukan dengan memilih pesawat dengan daya rusak tertinggi berdasarkan berat dan jumlah keberangkatan pesawat. Prosedur perencanaan tidak mengkonversi campuran lalu-lintas menjadi keberangkatan ekivalen pesawat rencana. FAARFIELD menganalisis kerusakan pada perkerasan untuk masing-masing pesawat dan menentukan tebal akhir untuk kerusakan total. FAARFIELD mempertimbangkan penempatan sumbu utama masing-masing pesawat terkait dengan garis sumbu.

c. Keberangkatan Tahunan Pesawat

FAARFIELD memperhitungkan annual departure secara kumulatif dan tidak dijadikan equivalent annual departure seperti yang diterapkan pada cara manual. Pada program FAARFIELD, total keberangkatan tahunan pesawat setiap pesawat dihitung untuk masa umur layan perkerasan dan persentase jumlah keberangkatan tahunan. Total keberangkatan tahunan pesawat dihitung dengan persamaan:

$$n = \left(1 + \frac{b \cdot L}{200}\right) \times a \times L \dots\dots\dots (2.5)$$

Dengan: N = total jumlah keberangkatan

L = Umur rencana perkerasan

a = angka keberangkatan tiap tahun

b = pertumbuhan lalu lintas (%)

d. Cumulative Damage Factor

FAARFIELD didasarkan pada faktor kerusakan kumulatif. CDF adalah angka yang menunjukkan kelelahan struktural akibat lama masa pelayanan operasionalnya, dengan persamaan:

$$CDF = \frac{(annual\ depature) \times (life\ in\ year)}{\left(\frac{Pass}{Coverage\ Ratio}\right)^{x(\text{coverage to failure})}} \dots\dots\dots(2.6)$$

$$CDF = \frac{\text{Pergerakan beban yang terjadi}}{\text{Pergerakan beban yang menyebabkan kerusakan}} \times \frac{c}{o} \dots\dots\dots(2.7)$$

Apabila  $CDF = 1$ , maka perkerasan mampu digunakan selama umur rencana sampai kerusakan terjadi. Apabila  $CDF < 1$ , maka perkerasan memiliki umur sisa setelah umur rencana terlampaui. Apabila  $CDF > 1$ , maka perkerasan mengalami kerusakan sebelum umur rencana terlampaui. Persamaan yang menunjukkan hubungan antara  $c$  dan regangan vertikal ( $E_v$ ) pada bagian atas tanah dasar adalah:

$$c = \left(\frac{0.004}{E_v}\right)^{8.1} \quad \text{untuk } c \leq 12100 \dots\dots\dots(2.8)$$

$$c = \left(\frac{0.002428}{E_v}\right)^{14.21} \quad \text{untuk } c > 12100 \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana:

$c$  = Jumlah pergerakan (coverage) yang menyebabkan kegagalan

$E_v$  = Regangan vertikal pada bagian atas lapisan tanah dasar

Persamaan yang menunjukkan hubungan antara jumlah liputan yang mengakibatkan kerusakan ( $c$ ) dengan regangan horizontal yang terjadi pada bagian bawah lapisan aspal adalah

$$\log_{10}(c) = 2,68 - 5x \log_{10}(Eh) - 2,665 x \log_{10}(Ea) \dots\dots(2.10)$$

Dimana:  $c$  = Jumlah pergerakan (coverage) yang menyebabkan kegagalan

$Ea$  = modulus aspal

$H$  = regangan horizontal yang terjadi dibawah lapisan aspal.

e. Berdasarkan AC 150/5320-6E tebal lapisan minimum untuk surface dengan material Item P-401 HMA adalah sebesar 5 in.

f. Berdasarkan AC 150/5320-6E menentukan tebal minimum base course sesuai kebutuhan setiap pesawat.

Tabel 2.9 Tebal Minimum *Base Course* Untuk *Software FAARFIELD*

<i>Gear Type</i>	Design Load Range		<i>Minimum Base Course Thickness</i>	
	(pound)	(kg)	(m)	(m m)
S	30.000-50.000	(13.600-22.700)	4	100
	50.000-70.000	22.700-34.000)	6	150
D	50.000-100.000	(22.700-45.000)	6	150
	100.000-200.000	45.000-90.700)	8	200
2D	100.000-250.000	(45.000-113.400)	6	150
	250.000-400.000	(113.400-181.000)	8	200
2D (B757) 2D(B767)	200.000-400.000	(90.700-181.000)	6	150
2D(DC-10) 2D	400.000-600.000	(181.000-272.000)	8	200

Tabel 2.9 Lanjutan

(L1011)				
2D/2D2	400.000-600.000	(181.000-272.000)	6	150
(B747)	600.000-850.000	(272.000-385.700)	8	200
C-130	75.000-125.000	(34.000-56.700)	4	100
	12.500-175.000	(56.700-79.400)	6	150
3D(A380)	1.239.000- 130.5125	(56200-592000)	9	230

(Sumber: FAA, 2009)

## 2.5 Parameter Penentu Tebal Perkerasan

Parameter penentu tebal perkerasan adalah data frekuensi rencana penerbangan masing-masing jenis pesawat udara dengan disertai data karakteristik dari masing-masing jenis pesawat udara. Dimulai dengan menentukan jenis pesawat rencana dan nilai keberangkatan tahunan ekuivalen yaitu pesawat udara yang membutuhkan tebal perkerasan terbesar dengan frekuensi maksimal. Umumnya dalam perencanaan bandar udara dibutuhkan data frekuensi rencana 20 tahun ke depan. Jika hanya terdapat selama lima tahun maka data tersebut perlu di regresi linier untuk dapat menunjukkan data rencana 20 tahun ke depan.

Karena pesawat udara yang beroperasi di bandar udara mempunyai konfigurasi roda pendaratan yang berbeda, maka perlu menentukan keberangkatan tahunan ekuivalen dari pesawat udara rencana dengan konfigurasi roda tertentu. Keberangkatan tahunan ekuivalen dari pesawat rencana ditetapkan dengan menjumlahkan nilai keberangkatan tahunan ekuivalen setiap jenis pesawat dalam kelompok satu tahun.

”Halaman ini sengaja dikosongkan”

## **BAB III METODOLOGI**

### **3.1 Metode pengerjaan tugas akhir**

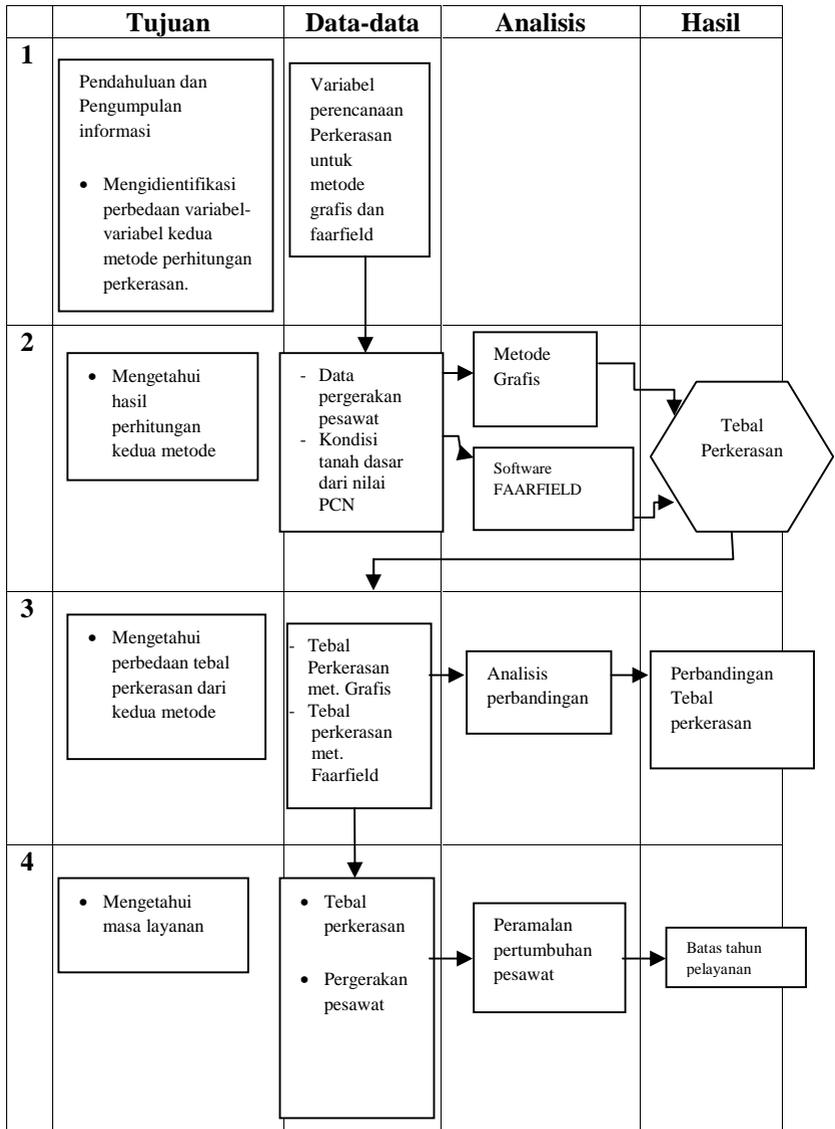
Untuk memudahkan dalam pengerjaan tugas akhir, sangat diperlukan langkah-langkah kerja untuk dapat menyelesaikan tugas akhir sesuai dengan aturan yang berlaku. Pada bab ini akan dijelaskan mengenai langkah-langkah tersebut sehingga terbentuk sebuah kerangka yang bertujuan memudahkan penulis untuk mengetahui alur-alur pengerjaan tugas akhir ini. Untuk lebih jelasnya, langkah kerja akan diuraikan pada gambar 3.1.

### **3.2 Uraian dan rincian skematik diagram**

Penyusunan tugas akhir dimulai dengan :

#### **1. Studi Literatur**

Studi literatur disini adalah pengumpulan referensi yang dapat mempermudah dan membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini. Referensi yang didapat berasal dari buku diktat kuliah, buku-buku yang berhubungan dengan penyelesaian tugas akhir ini serta dari internet.



Gambar 3.1 Flowcart Metodologi

2. Mengidentifikasi pergerakan pesawat yang ada di Bandara Juanda, jenis pesawat yang beroperasi di Bandara tersebut. Data pergerakan pesawat di Bandara Juanda dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 3.1 Pergerakan pesawat di Bandara Juanda tahun 2015

No	Type Pesawat	Hari ke							Keberangkatan 1 minggu	Keberangkatan 1 Tahun
		1	2	3	4	5	6	7		
1	A320	45	52	53	43	54	53	52	352	18.304
2	A321	1	1	-	-	1	-	-	3	156
3	A333	5	5	4	4	2	5	4	29	1.508
4	ATR72	11	10	11	10	10	11	10	73	3.796
5	B412	5	4	2	-	-	2	1	14	728
6	B733	8	6	4	4	3	6	5	36	1.872
7	B734	1	2	2	3	4	2	4	18	936
8	B735	6	8	9	10	7	7	8	55	2.860
9	B738	37	42	47	37	33	39	40	275	14.300
10	B739	34	34	39	30	38	37	33	245	12.740
11	B744	-	-	-	-	1	1	3	5	260
12	CRJX	6	6	6	6	6	6	6	42	2.184
13	E195	3	3	3	3	3	3	3	21	1.092
14	MD82	1	2	1	2	2	1	2	11	572
Keberangkatan		163	175	181	152	164	173	171		

(Sumber : Angkasa Pura 1, 2015)

Selain data pergerakan pesawat, yang dibutuhkan untuk perencanaan perkerasan adalah nilai PCN dari runway, yang didapatkan dari PT. Angkasa Pura 1.

Tabel 3.2 Nilai PCN Runway Bandara Juanda

1	2	3	4	5	6
Designations RWY NR	True & MAG BRG	Dimension of RWY	Strength (PCN) and Surface of RWY and SWY	THR Coordinates	THR Elevation and Highest Elevation of TDZ of Precision APP RWY
10  28	097'	3000 x45m	94 FDXT	07 22 39.61 S 112 46 24.57 E  07 22 55.25 S 112 48 00.97 E	11ft  8ft

Sumber : (Angkasa Pura1, 2015)

Dari tabel di atas, dapat kita ketahui bahwa nilai dari PCN runway adalah 94F/D/X/T.

### 3. Pengolahan Data

Setelah data-data yang dibutuhkan terkumpul, maka dilakukan pengolahan data tersebut. Dalam perencanaan pekerasan bandara ini, TA ini menggunakan 2 metode yang nantinya akan dibandingkan antara kedua metode tersebut, yaitu :

- a. Metode menggunakan cara manual/gafis.
- b. Metode menggunakan program FAARFIELD

### 4. Perbandingan metode Manual dengan *Software* FAARFIELD

Untuk mendapatkan perbandingan antara kedua metode ini, terlebih dahulu didapatkan tebal perkerasan dari kedua metode tersebut.

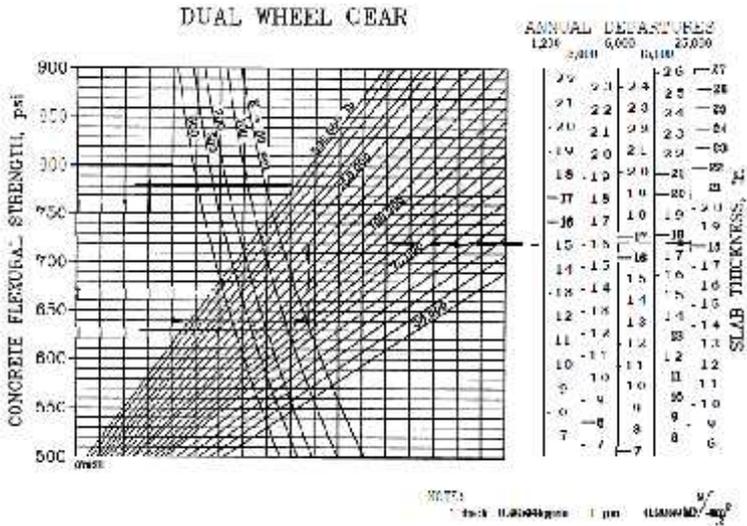


Gambar 3.2 Grafik perencanaan perkerasan lentur (*Flexible Pavement*)

(Sumber: FAA, 1995)

3.3.2 Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)

Setelah melakukan perhitungan dan didapatkan nilai MTOW dan *Annual Depature* desain, maka nilai yang didapatkan tadi di plotkan ke grafik dengan cara menarik horizontal dari kiri ke kanan atau dari nilai *concrete flexural strength* pesawat sampai ke garis nilai dari k subgrade, kemudian tarik garis vertikal ke atas atau kebawah untuk mendapatkan nilai MTOW, setelah itu tarik garis horizontal ke arah kanan sampai pada nilai *annual depature* desain, dan didapatkan ketebalan slab beton rencana, seperti gambar di bawah ini :



Gambar 3.3 Grafik perencanaan perkerasan kaku (*Rigid Pavement*)

(Sumber: FAA, 1995)

### 3.4 Tahapan Desain Perkerasan Menggunakan Software FAARFIELD

Dalam merencanakan tebal perkerasan bandara, juga menggunakan *software* dalam perencanaan yang akan dilakukan. Untuk mendapatkan nilai dari tebal perkerasan, ada langkah-langkah pengerjaan yang harus dilakukan, akan dijelaskan sebagai berikut :

- a. Ketika *software* dibuka, jendela startup ditampilkan, jika tidak ada pekerjaan direktori eksternal, sebuah pesan akan ditampilkan yang menyatakan bahwa tidak ada file pekerjaan di direktori kerja. Kemudian klik "New Job".



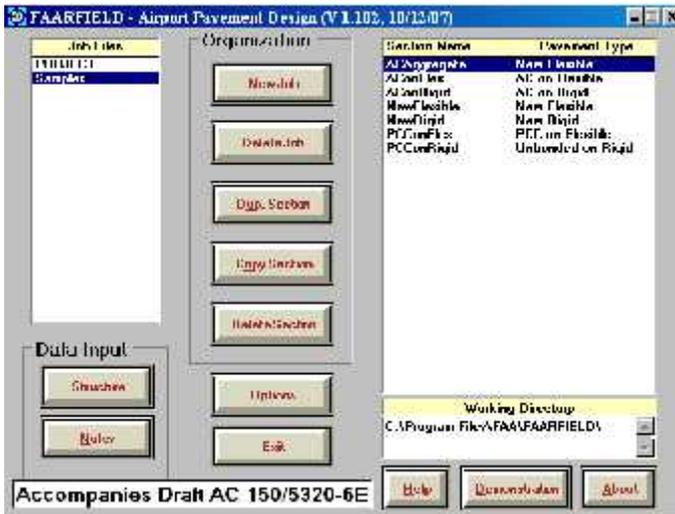
Gambar 3.4 Layar Utama FAARFIELD  
(Sumber : FAA, 2009)

- b. Kemudian masukkan nama pekerjaan baru yang akan kita lakukan. Lalu klik OK.



Gambar 3.5 Membuat job baru  
(Sumber : FAA, 2009)

- c. Pilih Samples pada kolom Job Files yang bertujuan untuk memilih jenis perkerasan apa yang akan kita desain. Kemudian, klik “copy section”, pilih salah satu jenis perkerasan lalu klik nama pekerjaan yang telah di buat tadi. Atau bisa dengan mengklik jenis perkerasan, lalu di drag kearah nama pekerjaan.



Gambar 3.6 Memilih jenis perkerasan  
(Sumber : FAA, 2009)

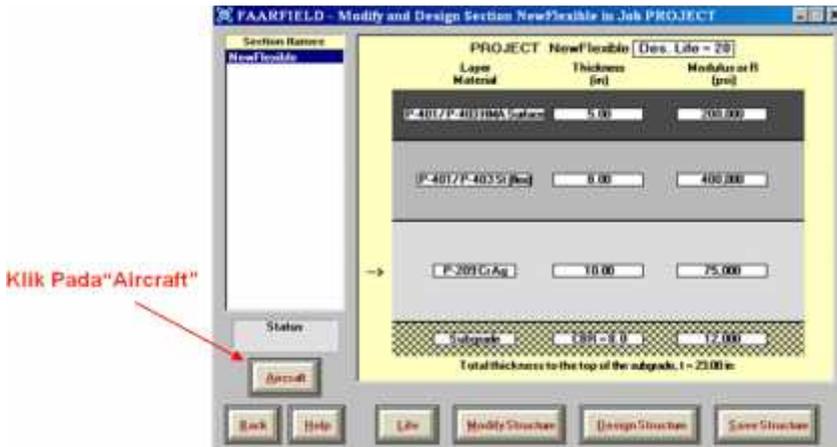
- d. Pilih file baru pekerjaan dalam kotak daftar tangan kiri dan klik dua kali pada nama bagian dalam daftar box kanan (atau klik Struktur) untuk mentransfer ke jendela STRUKTUR.



Gambar 3.7 Input data struktur

(Sumber : FAA, 2009)

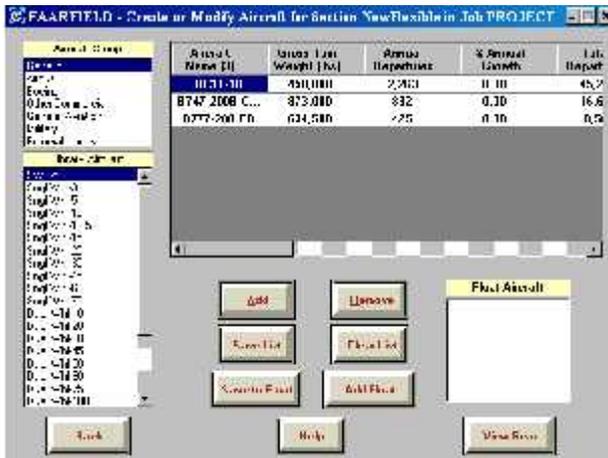
- e. Struktur perkerasan lentur baru dari pekerjaan Sampel akan ditampilkan setelah transfer ke jendela STRUKTUR. Tapi sebelum memulai desain struktur, informasi untuk campuran lalu lintas yang tercantum dalam pengantar contoh desain harus dimasukkan dalam jendela PESAWAT.



Gambar 3.8 Tampilan lapisan perkerasan

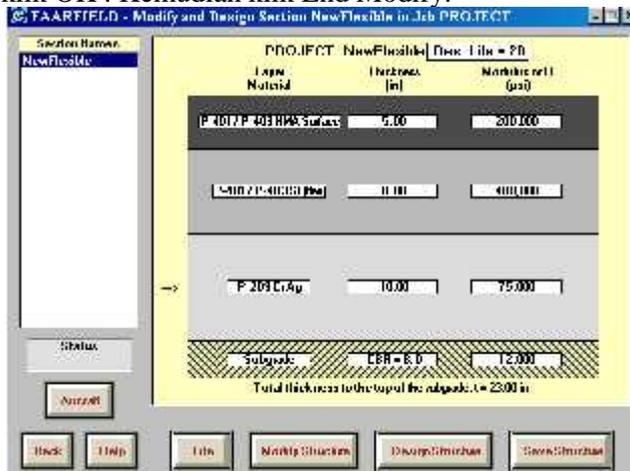
(Sumber : FAA, 2009)

- f. Bersihkan daftar pesawat yang ada, kemudian pilih jenis pesawat sesuai dengan yang ada pada data lalu lintas pesawat. Klik "Add". Kemudian masukkan nilai *gross Taxi Weight*/MTOW dan *Annual Departure*/Keberangkatan tahunan tiap-tiap pesawat.



Gambar 3.9 Jenis pesawat desain  
(Sumber : FAA, 2009)

- g. Berikutnya, memodifikasi struktur di jendela STRUKTUR. Satu-satunya perubahan yang perlu dibuat adalah untuk mengubah CBR tanah dasar dari nilai default 15 ke nilai sebenarnya dari 8. Klik Struktur Modify, klik pada kotak CBR di lapisan tanah dasar, masukkan nilai yang benar, dan klik OK . Kemudian klik End Modify.



Gambar 3.10 Modify struktur

(Sumber : FAA, 2009)

- h. Setelah semua data di masukkan, kemudian klik pada “Design Structure”. Maka program akan secara otomatis menghitung ketebalan masing-masing lapisan. Setelah itu klik tombol “Back, kemudian muncul jendela “Saving Structure”, lalu klik Yes.



Gambar 3.11 Desain struktur otomatis

(Sumber : FAA, 2009)

- i. Setelah itu, akan kembali ke tampilan depan dari program, untuk melihat hasil dari desain yang telah dilakukan, klik “Notes”. Maka akan muncul nilai tiap-tiap lapisan perkerasan.



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## BAB IV ANALISIS DATA

### 4.1 Analisis Perbedaan Variabel

Di dalam perhitungan perkerasan bandara, menggunakan metode grafis dan menggunakan software tidaklah sama dalam perhitungannya, ada beberapa perbedaan dari kedua metode tersebut, antara lain :

Tabel 4.1 Perbedaan Konsep Perhitungan metode grafis dan FAARFIELD

CARA	PERBEDAAN PARAMETER		
	Total Keberangkatan Tahunan	Pesawat Rencana	Data Kondisi Tanah
Grafis	Didapat dari jumlah keberangkatan tahunan ditahun rencana dan diekivalensikan, sehingga dapat mengakibatkan kelebihan dan kekurangan jumlah dari total keberangkatan tahunan	Yang diperhitungkan adalah pesawat yang memiliki frekuensi keberangkatan terbanyak.	Masukkan harga CBR <i>Subgrade</i> dan <i>Subbase</i>
FAARFIELD	Pertumbuhan lalu lintas dikali angka keberangkatan dikali umur rencana perkerasan, sehingga tidak menimbulkan kekurangan dan kelebihan jumlah total keberangkatan tahunan.	Semua pesawat diperhitungkan sebagai penyumbang beban ada perkerasan dan memiliki CDF, sehingga setiap kebutuhan pesawat dapat diketahui.	Hanya memasukkan harga CBR <i>Subgrade</i> .

## 4.2 Analisis Perhitungan Tebal Perkerasan

Dalam perhitungan perencanaan tebal perkerasan, ada dua metode yang akan digunakan yaitu metode grafis dan software. Pada metode grafis terdapat beberapa cara dalam perhitungan yaitu menggunakan metode FAA, LCN dan PCA. Namun pada tugas akhir ini metode yang digunakan adalah metode FAA.

### 4.2.1 Perhitungan perkerasan lentur metode Grafis

Di dalam perhitungan perkerasan menggunakan metode grafis, ada beberapa hal yang perlu diketahui yang merupakan faktor-faktor untuk digunakan pada perhitungan perkerasan, faktor-faktor tersebut meliputi :

a. Jenis pesawat

Dalam perhitungan perkerasan cara grafis, jenis pesawat yang digunakan adalah jenis pesawat yang mempunyai frekuensi keberangkatan terbanyak. Dengan cara mengkonversikan faktor keberangkatan semua pesawat kepada pesawat yang menjadi pesawat desain.

b. Susunan Roda

Setiap jenis pesawat mempunyai susunan roda yang berbeda-beda, diantaranya adalah *single wheel*, *dual wheel*, *dual thandem*, dan lain-lain yang dapat dilihat pada tabel 2.1 pada bab 2.

c. MTOW (*Maximum Take-Off Weight*)

Merupakan beban pesawat maximum saat lepas landas. Beban ini meliputi berat operasi kosong, bahan bakar, dan muatan/penumpang.

### 1. Menghitung *Equivalen Annual Depature*

Tabel 4.2 Jenis Pesawat, Susunan Roda, MTOW, dan Keberangkatan Tahunan

Jenis Pesawat	Susunan Roda	MTOW		Keberangkatan Tahunan
		Kg	Pound	
A320	<i>Dual Wheel</i>	73.900	162.580	18.304
A321	<i>Dual wheel</i>	83.000	182.600	156
A333	<i>Dual Tandem</i>	230.000	506.000	1.508
AT72	<i>Dual Wheel</i>	21.500	47.300	3.796
B412	<i>Dual Wheel</i>	23.290	51.238	728
B733	<i>Dual Wheel</i>	56.470	124.234	1.872
B734	<i>Dual Wheel</i>	62.820	138.204	936
B735	<i>Dual Wheel</i>	52.390	115.258	2.860
B738	<i>Dual Wheel</i>	70.530	155.166	14.300
B739	<i>Dual Wheel</i>	79.015	173.833	12.740
B744	<i>Dual Tandem</i>	396.890	873.158	260
CRJX	<i>Dual Wheel</i>	21.500	47.300	2.184
E195	<i>Dual Wheel</i>	48.790	107.338	1.092
MD82	<i>Dual Wheel</i>	67.812	149.186	572

(Sumber : Angkasa Pura1, 2015)

Dari tabel di atas, dapat diketahui type roda, berat maksimum saat lepas landas, dan frekuensi keberangkatan tahunan (*annual depature*) masing-masing jenis pesawat. Selanjutnya adalah menentukan nilai dari *equivalen annual depature* dengan menggunakan jenis pesawat A320 jumlah *annual depature* sebanyak 18.304 dan sebagai pesawat desain yang akan digunakan untuk mendesain tebal perkerasan. Langkah perhitungannya adalah sebagai berikut :

1. Menentukan Pesawat Rencana

Pesawat rencana dapat ditentukan dengan melihat jenis pesawat yang beroperasi dan besar MTOW (*Maximum Take Of Weight*) dan data jumlah keberangkatan tiap jenis pesawat yang berangkat tersebut. Pemilihan pesawat rencana ini pada dasarnya bukanlah berasumsi harus berbobot paling besar, tetapi jumlah pesawat yang berangkat dan pesawat yang parkir di apron yang direncanakan. Pada perencanaan ini digunakan data pergerakan pesawat yang beroperasi di Bandara Juanda pada tahun 2015 dan dipilih pesawat A320 dengan konfigurasi roda *Dual wheel* sebagai pesawat rencana karena memiliki tingkat pergerakan paling tinggi.

2. Menentukan Beban Roda Pendaratan Utama Pesawat (W1)

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 :

$$W1 = P \times MTOW \times \frac{1}{A} \times \frac{1}{B} \dots \dots \dots \text{Persamaan 4.1}$$

Dimana :

- W1 = Beban roda pendaratan pesawat rencana (lb)  
 MTOW = Berat kotor pesawat saat lepas landas  
 A = Jumlah konfigurasi roda  
 B = Jumlah roda per satu konfigurasi  
 P = Persentase beban yang diterima roda pendaratan utama

Dalam perencanaan ini digunakan tipe pesawat A-320 dengan konfigurasi roda *dual wheel* dan MTOW sebesar 18.304 lbs, maka beban roda pendaratan utama pesawat W1 :

$$W1 = P \times MTOW \times \frac{1}{A} \times \frac{1}{B}$$

$$W1 = 0,95 \times 162.580 \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2}$$

$$W1 = 38.612$$

### 3. Menentukan Nilai Ekuivalen Keberangkatan Pesawat Lain yang Beroperasi di Bandara

Pada lalu lintas pesawat, struktur perkerasan harus mampu melayani berbagai macam jenis pesawat yang mempunyai tipe roda pendaratan berbeda-beda dan bervariasi beratnya. Pengaruh dari beban yang diakibatkan oleh semua jenis model lalu lintas itu harus dikonversikan ke dalam pesawat rencana yaitu A-320 dengan *equivalen annual depature* dari pesawat-pesawat campuran tadi, sehingga dapat disimpulkan bahwa perhitungan ini berguna untuk mengetahui total keberangkatan keseluruhan dari bermacam pesawat yang dikonversikan ke dalam pesawat rencana. Untuk menentukan R1 dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$\text{Log } R1 = \text{Log } R2 \frac{W2}{W1} \quad (\text{Persamaan 4.2})$$

Dimana :

R1 = Ekuivalen keberangkatan tahunan dari pesawat rencana (pound)

R2 = Jumlah keberangkatan tahunan oleh pesawat berkenaan dengan konfigurasi roda.

W1 = Beban roda pesawat rencana (pound)

W2 = Beban roda pesawat yang harus diubah.

Untuk hasil perhitungan *equivalen annual depature* dapat dilihat pada table 4.2 dan berikut ini adalah contoh langkah perhitungan untuk pesawat A-320 :

R2 = Faktor pengali untuk keberangkatan x annual depature

$$R2 = 1 \times 18.304 = 18.304$$

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

$$W2 = P \times MTOW \times \frac{1}{A} \times \frac{1}{B}$$

$$W2 = 0,95 \times 162.580 \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2}$$

$$W2 = 38.612$$

Mencari *Wheel Load* rencana (W1) digunakan nilai *Wheel Load* A-320 sebagai pesawat rencana. Untuk mendapatkan ekivalen *annual depature* digunakan persamaan :

$$\text{Log } R1 = \text{Log } R2 \left( \frac{W2}{W1} \right)^{0,8}$$

$$\text{Log } R1 = \text{Log } 18.304 \left( \frac{38.612}{38.612} \right)^{0,8}$$

$$\text{Log } R1 = 4,268$$

4. R1 adalah jumlah keberangkatan tahunan *equivalen* pesawat ditentukan dengan cara sebagai berikut :

$$R1 = 10^{\text{log } R2 \cdot W2/W1}$$

$$= 10^{4,268}$$

$$= 18.535$$

Pola perhitungan seperti diatas, dilakukan terhadap seluruh tipe pesawat. Table 4.2 menunjukkan hasil perhitungan untuk seluruh tipe pesawat.

Tabel 4.3 Hasil Hitungan *Equivalen Annual Depature* untuk Bandara Juanda

Jenis Pesawat	Susunan Roda	MTOW		Keberangkatan Tahunan		W2	W1	Log R1	R1
		Kg	Lbs	R2'	R2				
A320	<i>Dual Wheel</i>	73.900	162.580	18.304	18.304	38.612	38.612	4,268	18.535
A321	<i>Dual Wheel</i>	83.000	182.600	156	156	43.367	38.612	2,3	199
A333	<i>Dual Thandem</i>	230.000	506.000	1.508	2.563	60.087	38.612	4,2	15.848
AT72	<i>Dual Wheel</i>	21.500	47.300	3.796	3.796	11.233	38.612	1,9	79
B412	<i>Dual Wheel</i>	23.290	51.238	728	728	12.169	38.612	1,6	39
B733	<i>Dual Wheel</i>	56.470	124.234	1.872	1.872	29.505	38.612	2,8	630
B734	<i>Dual Wheel</i>	62.820	138.204	936	936	32.823	38.612	2,7	501
B735	<i>Dual Wheel</i>	52.390	115.258	2.860	2.860	27.373	38.612	2,9	794

Tabel 4.3 Lanjutan

Jenis Pesawat	Susunan Roda	MTOW		Keberangkatan Tahunan		W2	W1	Log R1	R1
		Kg	Lbs	R2'	R2				
B738	<i>Dual Wheel</i>	70.530	155.166	14.300	14.300	36.851	38.612	4	10.000
B739	<i>Dual Wheel</i>	79.015	173.833	12.844	12.844	41.285	38.612	4,2	15.848
B744	<i>Dual Thandem</i>	396.890	873.158	260	442	103.158	38.612	4,3	19.952
CRJX	<i>Dual Wheel</i>	21.500	47300	2.184	2.184	11.233	38.612	1,8	63
E195	<i>Dual Wheel</i>	48.790	107.338	1.092	1.092	25.504	38.612	2,4	251
MD82	<i>Dual Wheel</i>	67.812	149.186	572	572	35.431	38.612	2,6	398
<i>Jumlah Equivalen Annual Depature Design</i>									83.137

Dari tabel di atas, di peroleh nilai *equivalen depature* pesawat desain adalah sebesar 83.137 dengan nilai MTOW 162.580lbs.

## 2. Menentukan nilai CBR Subgrade

Perkerasan landasan pacu biasanya dirancang dengan beberapa lapisan dengan setiap lapisan direncanakan dengan ketebalan tertentu dan cukup memadai untuk memastikan bahwa beban dari pesawat mampu dipikul oleh setiap lapisan perkerasan. Kekuatan perkerasan fasilitas sisi udara dinyatakan dalam suatu rangkaian angka dan huruf yang dinyatakan dengan Pavement Classification Number (PCN). PCN menggambarkan kekuatan struktur perkerasan, jenis perkerasan, batas kekuatan subgrade, batas tekanan roda pesawat. Secara garis besar, nilai PCN adalah ditulis dalam format berikut : PCN / F / A / Y / T

Di Bab 3 diketahui nilai dari PCN runway Bandara Juanda adalah : 94 F/D/X/T yang dapat diartikan sebagai berikut :

Tabel 4.4 Tata cara penulisan kode PCN

PCN	Jenis Perkerasan	Kategori Subgrade	Tekanan Roda	Metode Evaluasi
Nilai Numerik	R=Rigid F=Flexible	A=High B=Medium C=Low D=Ultra Low	W X Y Z	T=Technical U=Using Aircraft

(Sumber : FAA, 2011)

Dari nilai PCN runway di atas, dapat diketahui bahwa kategori subgrade mempunyai nilai subgrade yang rendah yang dapat kita lihat dari tabel di bawah ini.

Tabel 4.5 Klasifikasi kategori daya dukung tanah dasar

Kategori	Nilai CBR Flexible Pavement	Nilai 'k' Rigid Pavement (MN/m <sup>3</sup> )	Kode
High	> 13%	> 120	A
Medium	8% - 13%	60 – 120	B
Low	4% - 8%	25 – 60	C
Ultra Low	< 4%	< 25	D

(Sumber : FAA, 2011)

Dari tabel di atas, dapat kita ketahui bahwa nilai CBR subgrade untuk runway Bandara Juanda adalah kecil dari 4%. Kemudian untuk mengetahui besarnya tekanan roda pesawat yang beroperasi atau yang direncanakan dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 4.6 Klasifikasi Tekanan Roda Pesawat

Kategori	Tekanan Roda		Kode
High	>218 Psi	> 1.5 Mpa	W
Medium	145 – 218 Psi	1.0 – 1.5 Mpa	X
Low	73 – 145 Psi	0.5 – 1.0 Mpa	Y
Ultra Low	< 73 Psi	< 0.5 Mpa	Z

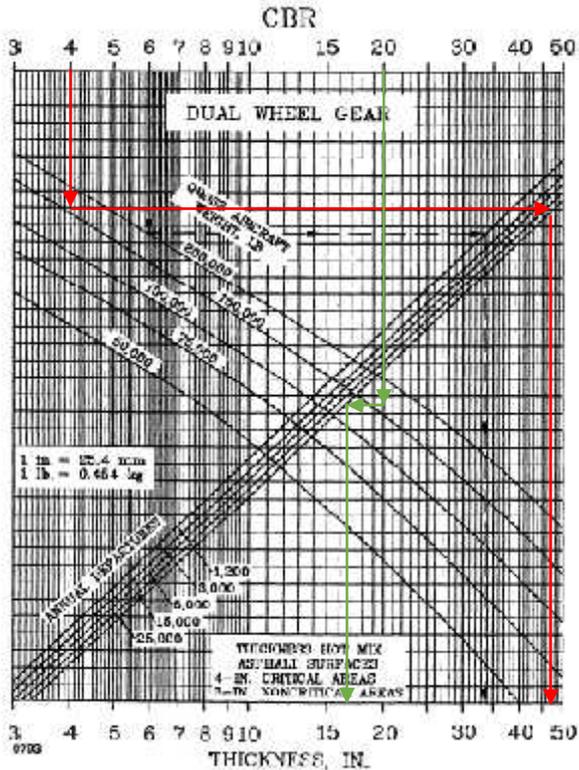
(Sumber : FAA, 2011)

Dari tabel di atas, dapat diketahui bahwa besarnya tekanan roda pesawat yang beroperasi di bandara juanda adalah sebesar 145 – 218 Psi.

Setelah nilai dari CBR subgrade kita asumsikan, maka akan didapatkan total dari tebal perkerasan yang akan kita desain dengan memasukkan nilai CBR, nilai *equivalen annual depature*, dan nilai *gross aircraft* yang kita desain ke dalam grafik.

### 3. Penentuan Tebal Lapis Perkerasan

Dalam menentukan tebal lapisan perkerasan, yaitu dengan menggunakan grafik desain, dengan memasukkan nilai dari CBR subgrade desain, nilai *equivalen annual depature*, dan nilai *gross aircraft*.



Gambar 4.1 Grafik Tebal perkerasan Untuk Pesawat A-320  
(Sumber : *Pavement Design AC 150\_5320\_6d FAA*)

Keterangan :

- = Garis untuk tebal perkerasan total (CBR4%)
- = Garis untuk CBR *subbase* (20%)

Hasil tebal perkerasan didapat dari plot grafik 4.1

- a. Tebal perkerasan total dari grafik 4.1, didapat tebal perkerasan total = 47 in

Tebal ini adalah untuk annual departure 25.000, maka untuk annual departure 83.137 kali (dari tabel 4.2), perlu dikalikan dengan persentase pengali untuk tingkat keberangkatan tahunan di atas 25.000.

Tabel 4.7 Persentase pengali untuk tingkat keberangkatan tahunan diatas 25.000

Tingkat Tahunan	Keberangkatan	% Tebal Total Keberangkatan Tahunan >25000
50.000		104
100.000		108
150.000		110
200.000		112

(Sumber : *Planning & Design Of Airport, Horonjeff*)

Pada tabel 4.7 ditunjukkan nilai 50.000 dan 100.000 tingkat keberangkatan sebanding dengan 104 dan 108, sehingga untuk total keberangkatan tahunan 83.137 perlu dilakukan interpolasi. Interpolasi keberangkatan tahunan diatas 25.000

$$\frac{100.000-50.000}{108-104} = \frac{83.137-50.000}{x-104} \quad \frac{50000}{004} - \frac{33137}{x-104} \quad X = 1,06$$

Untuk mendapatkan total tebal perkerasan dengan *Annual Departure* 83.137, maka tebal perkerasan yang didapat di grafik dikalikan dengan 1,06

$$= 1,06 \times 47 = 49,83 \text{ in} \rightarrow 50 \text{ in}$$

- b. Tebal lapisan Permukaan (*Surface*)

Dari grafik 4.1 diketahui untuk tebal surface daerah kritis adalah 4 in, sedangkan untuk non kritis adalah 3 in. Jadi untuk

perencanaan tebal lapisan permukaan diambil angka kritis yaitu 4 in.

c. Tebal lapisan pondasi atas (*base course*)

Dengan menggunakan grafik yang sama, dengan CBR *subbase* 20% diperoleh tebal 17 in. Dengan demikian dari CBR 20% diperoleh ketebalan total lapisan *base* dan *surface* adalah 17. Sehingga untuk ketebalan lapisan *base* yaitu 17 di kurangi 4 in yaitu 13in. CBR *subbase* yang diasumsikan diambil dari ketebalan minimum yang diperbolehkan untuk lapisan *subbase* yaitu dengan CBR 20%. (Sumber : FAA AC 150/5320/6D).

Tabel 4.8 Tebal minimum *Base Course*

<i>Design Aircraft</i>	<i>Design Load Range</i>		<i>Minimum Base Course Thickness</i>	
	(Pound)	(kg)	(in)	(mm)
<i>Single Wheel</i>	30.000-50.000	13.600-22.700	4	100
	50.000-70.000	22.700-34.000	6	150
<i>Dual Wheel</i>	50.000-100.000	22.700-45.000	6	150
	100.000-200.000	45.000-90.700	8	200
<i>Dual Wheel</i>	100.000-250.000	45.000-113.400	6	150
	250.000-400.000	113.400-181.000	8	200
<i>B-757</i> <i>B-767</i>	200.000-400.000	90.700-181.000	6	150
<i>DC-10</i> <i>L101 I</i>	400.000-600.000	181.000-272.000	8	200
<i>B-747</i>	400.000-	181.000-	6	150

Tabel 4.8 lanjutan

	600.000 600.000- 850.000	272.000 272.000- 385.000	8	200
<i>C-130</i>	75.000- 125.000	34.000- 56.700	4	100
	12.500- 175.000	56.700- 79.400	6	150

(Sumber : FAA, AC No. 150\_5320\_6d)

d. Tebal lapisan pondasi bawah (*subbase course*)

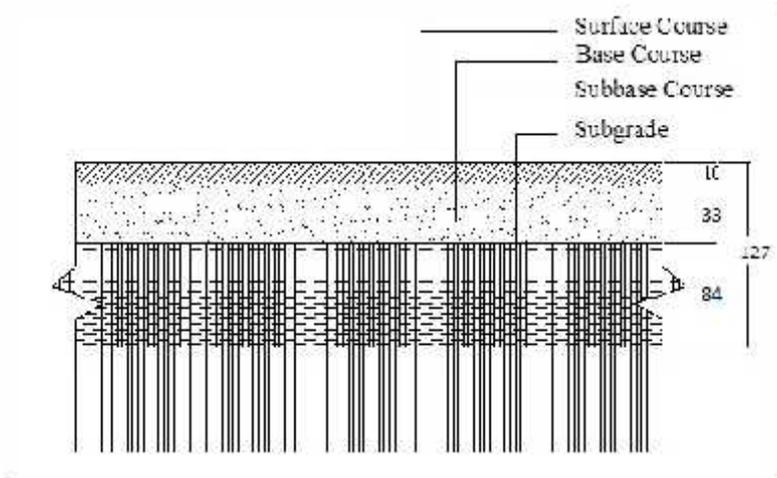
Total tebal perkerasan CBR *subgrade* didapatkan sebesar 50 in. Maka untuk tebal lapisan *subbase* adalah :

$$= 50 - 17 = 33 \text{ inchi}$$

Hasil perhitungan susunan tebal perkerasan landasan pacu menggunakan cara manual dibuat pada tabel 4.8 di bawah ini :

Tabel 4.9 Susunan Perkerasan lentur dengan CBR 4%

<i>Layer</i>	In	Cm
<i>Surface Course</i> (P-401/P-403 HMA)	4	10
<i>Base Course</i> (P-304 <i>Cement Treat Base</i> )	13	33
<i>Subbase Course</i> (P-209 <i>Chrused</i> )	33	84
<b>Total</b>	<b>50</b>	<b>127</b>



Gambar 4.2 Susunan Perkerasan dengan Menggunakan cara manual

#### 4.2.2 Perhitungan Tebal Perkerasan Kaku

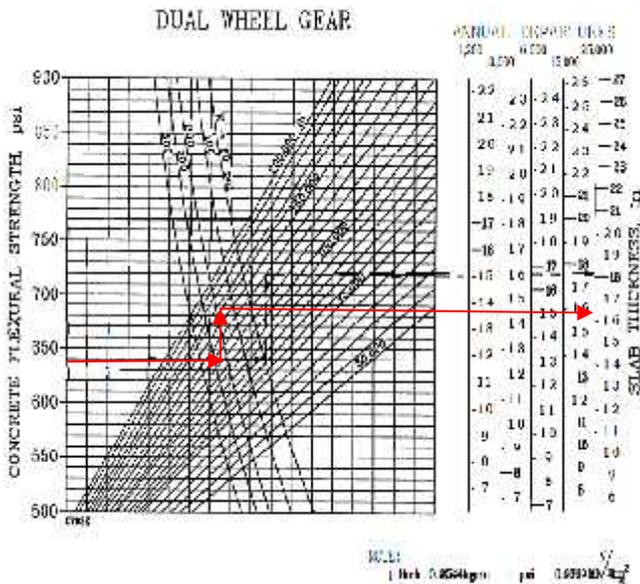
Perkerasan yang digunakan pada apron selalu menggunakan perkerasan kaku (*rigid pavement*). Jenis perkerasan ini umumnya digunakan sebagai metode perhitungan perkerasan untuk daerah parkir pesawat atau daerah-daerah yang mendapat pengaruh panas jet blast dan limpahan minyak. Untuk menentukan ketebalan dari perkerasan kaku ini terdapat tiga metode yang di gunakan, yaitu FAA, PCA dan LCN. Namun, dalam tugas akhir ini, penulis hanya menggunakan metode FAA untuk menghitung perkerasan kaku.

Berdasarkan data dari PT. Angkasa Pura, didapatkan nilai PCN untuk Apron adalah 96 R/C/X/T, yang berarti harga dari PCN tersebut dapat kita ketahui nilai daya dukung tanah dasar. Dari tabel 4.4, diketahui nilai “k” daya dukung tanah dasar untuk apron berkisar antara 25 – 60 Mn/m<sup>3</sup>.

## 1. Menentukan Tebal Slab Beton

Dengan menggunakan gambar 4.3. Meemplotkan kuat lentur beton sebesar 640 psi (data struktur perkerasan) dan ditarik garis horizontal ke kanan hingga bertemu dengan nilai  $k=220pci$ . Dan titik pertemuan tersebut ditarik garis vertical ke atas hingga bertemu dengan MTOW pesawat dpesawat rencana yaitu A320 dengan MTOW 162.580lbs, kemudian ditarik garis horizontal ke kanan untuk mengetahui tebal slab beton yang dibutuhkan berdasarkan annual depature. Nilai annual depature yang digunakan adalah 83.137 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 2.6.

Dari kurva yang tersedia untuk tingkat keberangkatan 25.000 pergerakan menunjukkan tebal perkerasan beton sebesar 16,6inchi. Hasil ini kemudian dialikan dengan persentase pengali hasil interpolasi nilai MTOW 50.000 dan 100.000 didapatkan 1,06 seperti hasil yang didapatkan pada perhitungan perkerasan lentur.



Gambar 4.3 Perhitungan slab beton

Jadi untuk mendapatkan tebal slab beton untuk annual departure 83.137 adalah dengan mengkalikan 16,5 inchi dengan 1,06. Didapatkan hasilnya adalah 17,49 inchi.

### 4.3 Perhitungan Menggunakan Software FAARFIELD

FAARFIELD adalah sebuah program komputer untuk desain tebal perkerasan bandara. Menerapkan keduanya berbasis dan tiga dimensi terbatas berdasarkan elemen-prosedur desain elastis berlapis dikembangkan oleh Federal Aviation Administration (FAA) untuk desain baru dan overlay perkerasan lentur dan kaku. Prosedur desain ketebalan diimplementasikan dalam program ini adalah bandara FAA standar desain tebal perkerasan dirujuk dalam *Advisory Circular (AC) 150 / 5320-6E*.

#### 4.3.1 Perhitungan Total Annual Departure

Dalam perhitungan Annual Departure dalam menggunakan software ini, maka jumlah keberangkatan pesawat dalam setahun

di jadikan kedalam 20tahun untuk masing-masing pesawat, karena standar umur untuk desain perkerasan menggunakan program ini adalah selama 20tahun.

- a. Perhitungan untuk pesawat A320

$$N = \left(1 + \frac{b \times L}{200}\right) \times u \times L$$

$$N = \left(1 + \frac{0 \times 20}{200}\right) \times 18.304 \times 20$$

$$N = 366.080 \text{ kali}$$

Untuk pesawat lain dihitung dengan cara yang sama, maka dengan data yang ada, didapatkan total departure masing-masing pesawat adalah sebagai berikut :

Tabel 4.10 Total keberangkatan Pesawat Di Bandara Juanda

Pesawat	Total keberangkatan
A320	366.080
A321	3.120
A333	30.160
B733	37.440
AT72	75.290
B412	14.560
B734	18.720
B735	57.200
B738	286.000
B739	254.800

Tabel 4.10 Lanjutan

B747	5.200
CRJX	43.680
E195	21.840
MD82	11.440

### 4.3.2 Perhitungan Cumulative Damage Factor

Setelah dilakukan perhitungan menggunakan software FAARFIELD ini, didapatkan nilai CDF yang terjadi adalah 1. Berikut ini adalah tabel *Cummulative Damage Factor* pesawat di Bandara Juanda.

Tabel 4.11 CDF *Contribution* pesawat di Juanda

No.	Pesawat	<i>CDF Contribution</i>
1	A320	0
2	A321	0
3	A333	0,64
4	AT72	0
5	B412	0
6	B733	0
7	B734	0
8	B735	0
9	B738	0
10	B739	0
11	B747	0,36

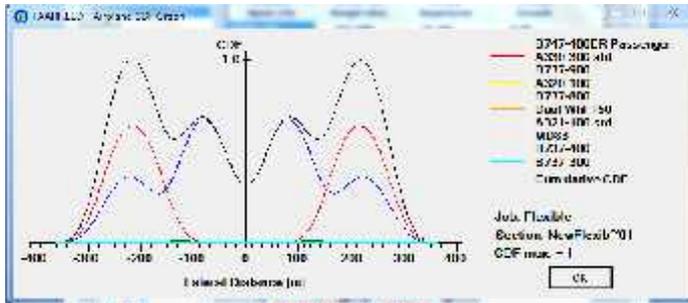
Tabel 4.11 Lanjutan

12	CRJX	0
13	E195	0
14	MD82	0
TOTAL CDF = 1		

masing-masing jarak roda pesawat yang mempengaruhi beban pada perkerasan landasan pacu adalah sebagai berikut :

Tabel 4.12 *Dual Spacing* pesawat di Juanda

No.	Pesawat	<i>Dual Spacing (in)</i>
1	A320	36,5
2	A321	36,5
3	A333	55
4	AT72	15
5	B412	20
6	B733	30,5
7	B734	30,5
8	B735	30,5
9	B738	34
10	B739	34
11	B747	44
12	CRJX	30
13	E195	23
14	MD82	28,13



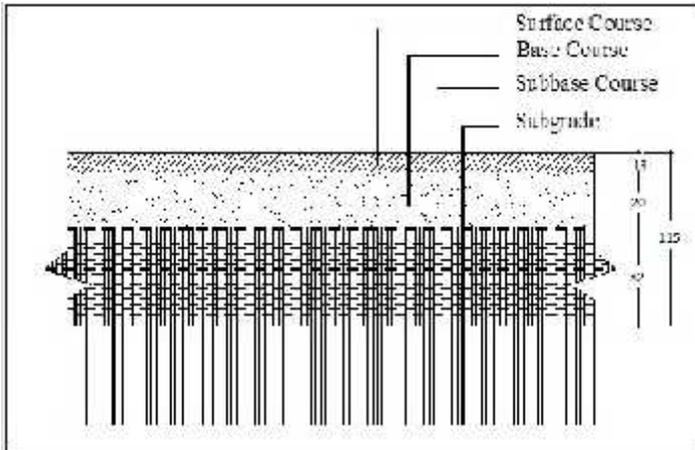
Gambar 4.4 Spasi Roda masing-masing pesawat

Gambar 4.4 diatas menunjukkan grafik faktor kerusakan yang ditimbulkan oleh roda pendaratan pesawat. Axis mendatar merupakan jarak antar 2 roda persatu gear, sedangkan axis vertikal adalah nilai kerusakan yang diakibatkan oleh massa pesawat.

Setelah diketahui kontribusi masing-masing pesawat dalam menyumbangkan kerusakan pada perkerasan, dapat ditentukan tebal perkerasan yang memiliki CDF = 1 (Kerusakan akan terjadi saat umur perkerasan selama 20 tahun terlampaui). Adapun hasil tebal perkerasannya adalah sebagai berikut :

Tabel 4.13 Susunan Perkerasan dengan Perhitungan *Software* FAARFIELD

Layer	In	Cm
Surface Course (P-401/P-403 HMA)	5	13
Base Course (P-304 Cement Treat Base)	8	20
Subbase Course (P-209 Chrused)	32,13	82
Total	45,13	115



Gambar 4.5 Susunan perkerasan menggunakan *software* FAARFIELD

Gambar 4.5 merupakan gambaran struktur lapisan perkerasan yang diperoleh dari tabel 4.13.2

Flexible NewFlexib~01 Des. Life = 20		
Layer Material	Thickness (in)	Modulus or R (psi)
P-401/P-403/IM4 Surface	5.00	200,000
P-304 CTB	8.00	500,000
P-209 Cr/Ag	32.13	50,790
Subgrade	CBR = 1.0	6,000

Gambar 4.6 Hasil Desain perkerasan menggunakan *software* FAARFIELD

Gambar 4.6 merupakan tebal perkerasan hasil runner dari program FAARFIELD, hasil ini kemudian disajikan dan disederhanakan dalam bentuk tabel 4.12.

### 4.3.3 Perhitungan Perkerasan Kaku dengan FAARFIELD

Berdasarkan data dari PT. Angkasa Pura, didapatkan nilai PCN untuk Apron adalah 96 R/C/X/T, yang berarti harga dari PCN tersebut dapat kita ketahui nilai daya dukung tanah dasar. Dari tabel 4.4, diketahui nilai “k” daya dukung tanah dasar untuk apron berkisar antara 25 – 60 Mn/m<sup>3</sup>. Kemudian memasukkan data-data pesawat yang beroperasi. Setelah dilakukan perhitungan, dengan memasukkan data-data yang ada, didapatkan tebal perkerasan kaku dengan menggunakan software adalah 29,9 dibulatkan jadi 30 inchi dengan rincian sebagai berikut:

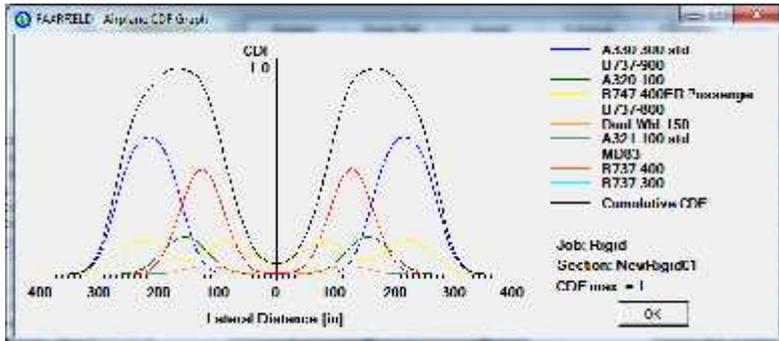
Layer Material	Thickness (in)	Modulus or R (psi)
PCC Surface	17.99	700
P-304 C18	6.00	500,000
P-209 C18	6.00	15,684
Subgrade	k = 60.0	1,990

N = 0; PCC CDF = 1.00; t = 29.99 in

Gambar 4.7 lapisan perkerasan kaku

Dari gambar diatas dapat kita ketahui tebal slab beton jika dihitung menggunakan software didapatkan sebesar 17,99 inchi dan dibulatkan menjadi 18 inchi, sedangkan pada perhitungan

secara grafis, didapatkan ketebalan slab beton adalah 17,49 inci dan dibulatkan menjadi 17,5 inci.



Gambar 4.8 Spasi Roda masing-masing pesawat

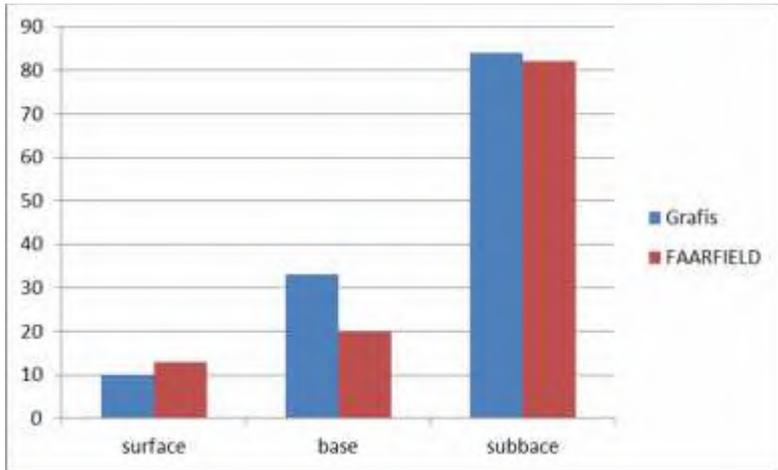
#### 4.4 Perbandingan Tebal Perkerasan Metode Grafis dengan Software FAARFIELD

Dari kedua cara diatas (grafis dan *software*), jika dibandingkan hasil yang didapat akan terlihat perbedaan, seperti yang diberikan di bawah ini :

Tabel 4.14 Perbandingan Hasil Perhitungan Tebal Perkerasan Flexible

Jenis perkerasan	Hasil perhitungan			
	CBR 4%			
	Grafis		FAARFIELD	
	In	Cm	In	Cm
<i>Surface course</i>	4	10	5	13
<i>Base Course</i>	13	33	8	20
<i>Subbase Course</i>	33	84	32,13	82
Total	50	127	45,13	115

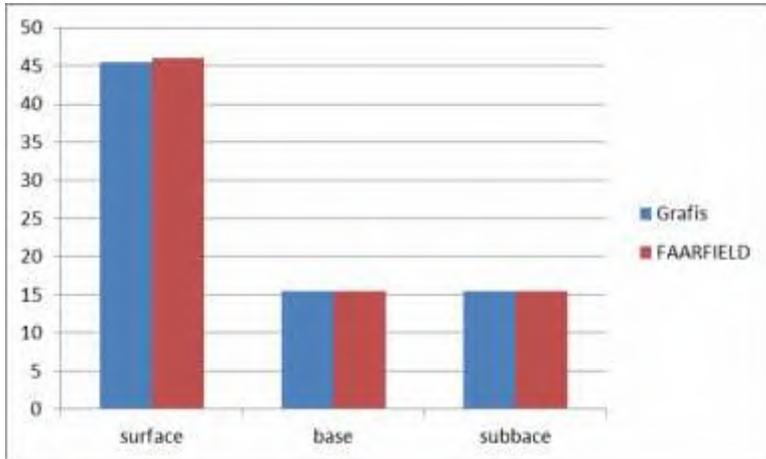
Persentase perbandingan antara cara grafis dan *software* FAARFIELD adalah sebagai berikut :



Gambar 4.9 Perbandingan tebal perkerasan flexible

Tabel 4.15 Perbandingan Hasil Perhitungan Tebal Perkerasan Kaku

Jenis perkerasan	Hasil perhitungan			
	K 60 Mn/m <sup>3</sup>			
	Grafis		FAARFIELD	
	In	Cm	In	Cm
<i>Surface course</i>	17,5	45,5	18	46
<i>Base Course</i>	6	15,5	6	15,5
<i>Subbase Course</i>	6	15,5	6	15,5
Total	29,5	76,5	30	77



Gambar 4.10 Perbandingan tebal perkerasan Kaku

#### 4.4.1 Analisis Hasil Perhitungan

Selisih perhitungan grafis dengan *software* FAARFIELD adalah 12 cm atau 9%, sehingga hasil perhitungan grafis lebih tebal dibanding *software* FAARFIELD. Sedangkan pada perkerasan kaku, tidak terdapat perbedaan antara metode grafis dan FAARFIELD.

Hasil yang didapat dari masing-masing cara memiliki perbedaan pada tiap-tiap lapisan. Hal ini dikarenakan beberapa sebab :

- a. Pada *software* FAARFIELD, beban pesawat diperhitungkan semua sebagai penyumbang kerusakan perkerasan yang ditunjukkan oleh nilai CDF, berbeda halnya dengan cara grafis yang pesawat-pesawatnya dikonversi menjadi pesawat rencana. Dari hasil perhitungan menggunakan *software* FAARFIELD, nilai CDF adalah 1 yang artinya perkerasan mampu mengakomodasi beban pesawat yang maksimum (A333 dan B747) sampai usia rencana 20 tahun.

- b. Nilai *surface* kedua tebal perkerasan berbeda di karenakan pada cara grafis yang menggunakan grafik, bergantung pada pesawat desain dengan type roda *dual wheel gear*, maka diambil ketebalan kritis yang tertera pada grafik.

Tebal base *course* dengan menggunakan cara grafis lebih tebal dari pada menggunakan *software* FAARFIELD, hal ini disebabkan karena pada saat melakukan perhitungan, masukan nilai awal dari tebal perkerasan *base course* merupakan nilai minimum yang berdasarkan pada tabel minimum base course untuk menggunakan lapisan pondasi bawah (AC No.150\_5320\_6E).

- c. Perhitungan dengan cara grafis memiliki kelemahan ketelitian dalam penarikan garis untuk nilai dari setiap parameter yang akan diplot ke grafik, sehingga hasil yang didapat bisa menjadi lebih besar ataupun lebih kecil.

#### **4.5 Pengolahan Data Untuk Peramalan**

Peramalan merupakan dugaan terhadap permintaan yang akan datang berdasarkan pada beberapa variabel peramal, sering berdasarkan data deret waktu historis. Peramalan menggunakan teknik-teknik peramalan yang bersifat formal maupun informal (Gaspersz, 1998).

Dalam proses peramalan, perlu ditentukan metode peramalan yang diharapkan akan memberikan hasil yang sesuai dengan kondisi sebenarnya. Pada analisa peramalan ini, penulis menggunakan metode regresi linear sebagai acuan untuk menghitung peramalan pergerakan pesawat di Juanda hingga 20 tahun kedepan.

##### **4.5.1 Metode Regresi Linear**

Regresi linear adalah metode statistika yang digunakan untuk membentuk 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.

Meode regresi linear ini hanya memiliki satu variabel bebas, bentuk umum persamaan regresi linear adalah :

$$Y_i = a + b X_i$$

$$i = 1, 2, \dots, n$$

Dimana :

Y = Variabel Terikat (*dependent variable*)  
 X = Variabel Bebas (*independent variable*)  
 A, b = Parameter regresi  
 i = pengamatan yang ke – i  
 n = banyaknya pengamatan

Untuk perhitungan jumlah pergerakan pesawat ditahun rencana, diambil sampel pesawat A-320, ATR-72, B735, B738, B739

#### 1. Perhitungan untuk pesawat A320.

Tabel 4.16 Pergerakan pesawat A320

TAHUN	TAHUN KE	PERGERAKAN PESAWAT	Xi.Yi	X <sup>2</sup>
	Xi	Yi		
2011	1	2332	2332	1
2012	2	4919	9838	4
2013	3	8986	26958	9
2014	4	10220	40880	16
2015	5	18304	91520	25
JUMLAH	15	44761	171528	55

(sumber : Triwibowo, 2014)

Banyaknya pengamatan  $N = 5$  tahun (2011 – 2015)

$$b = \frac{(n\sum xy) - (\sum x \sum y)}{n\sum x^2 - (\sum x)^2} = \frac{(5 \times 171528) - (15 \times 44761)}{(5 \times 55) - (15)^2}$$

$$b = 3724,5$$

$$a = \frac{\sum y - b\sum x}{n} = \frac{44761 - 3724,5 \times 15}{5}$$

$$a = -2221,3$$

Untuk menghitung jumlah pergerakan pesawat pada tahun 2035 di gunakan persamaan  $Y = a + bX_i$

$$Y_{20} = -2221,3 + (3724,5 \times 20)$$

$$Y_{20} = 72.268,7 = 72.269$$

Jadi untuk pesawat A320 didapatkan nilai  $Y$  pada tahun 2035 adalah 72.269.

## 2. Perhitungan untuk pesawat ATR-72.

Tabel 4.17 pergerakan pesawat ATR-72.

TAHUN	TAHUN KE	PERGERAKAN PESAWAT	Xi.Yi	X <sup>2</sup>
	Xi	Yi		
2011	1	3350	3350	1
2012	2	4361	8722	4
2013	3	3811	11433	9
2014	4	5738	22952	16
2015	5	3796	18980	25
JUMLAH	15	21056	65437	55

(sumber : Triwibowo, 2014)

$$b = \frac{(n\sum xy) - (\sum x \sum y)}{n\sum x^2} = \frac{(5 \times 65437) - (15 \times 21056)}{(5 \times 55) - (15)^2} = 226,9$$

$$a = \frac{\sum y - b \sum x}{n} = \frac{44761 - 226,9}{5} = 3530,5$$

Untuk menghitung jumlah pergerakan pesawat pada tahun 2035 di gunakan persamaan  $Y = a + bXi$

$$Y_{20} = 3530,5 + (226,9 \times 20)$$

$$Y_{20} = 8069$$

Jadi untuk pesawat ATR-72 didapatkan nilai Y pada tahun 2035 adalah 8069.

### 3. Perhitungan untuk pesawat B735

Tabel 4.18 pergerakan pesawat B735

TAHUN	TAHUN KE	PERGERAKAN PESAWAT	Xi.Yi	X <sup>2</sup>
	Xi	Yi		
2011	1	342	342	1
2012	2	1072	2144	4
2013	3	2243	6729	9
2014	4	2742	10968	16
2015	5	2860	14300	25
JUMLAH	15	9259	34483	55

(sumber : Triwibowo, 2014)

$$b = \frac{(n \sum xy) - (\sum x \sum y)}{n \sum x^2} = \frac{(5 \times 34483) - (15 \times 9259)}{(5 \times 55) - (15)^2} = 670,6$$

$$a = \frac{\sum y - b \sum x}{n} = \frac{9259 - 670,6}{5} = -160$$

Untuk menghitung jumlah pergerakan pesawat pada tahun 2035 di gunakan persamaan  $Y = a + bXi$

$$Y_{20} = -160 + (670,6 \times 20)$$

$$Y_{20} = 13.352$$

Jadi untuk pesawat ATR-72 didapatkan nilai Y pada tahun 2035 adalah 13.352.

## 4. Perhitungan untuk pesawat B738

Tabel 4.19 pergerakan pesawat B738

TAHUN	TAHUN KE	PERGERAKAN PESAWAT	Xi.Yi	X <sup>2</sup>
	Xi	Yi		
2011	1	4154	4154	1
2012	2	5030	10060	4
2013	3	6005	18015	9
2014	4	7083	28332	16
2015	5	14300	71500	25
JUMLAH	15	36572	132061	55

(sumber : Triwibowo, 2014)

$$b = \frac{(n\sum xy) - (\sum x \sum y)}{n\sum x^2} = \frac{(5 \times 132061) - (15 \times 36572)}{(5 \times 55) - (15)^2} = 2234,5$$

$$a = \frac{\sum y - b\sum x}{n} = \frac{36572 - 2234,5 \times 5}{5} = 610,9$$

Untuk menghitung jumlah pergerakan pesawat pada tahun 2035 di gunakan persamaan  $Y = a + bXi$

$$Y_{20} = 610,9 + (2234,5 \times 20)$$

$$Y_{20} = 45.301$$

Jadi untuk pesawat ATR-72 didapatkan nilai Y pada tahun 2035 adalah 45.301

## 5. Perhitungan untuk pesawat B739

Tabel 4.20 pergerakan pesawat B739

TAHUN	TAHUN KE	PERGERAKAN PESAWAT	Xi.Yi	X <sup>2</sup>
	Xi	Yi		
2011	1	6109	6109	1
2012	2	8209	16418	4
2013	3	9521	28563	9
2014	4	11434	45736	16

TAHUN	TAHUN KE	PERGERAKAN PESAWAT	Xi.Yi	X <sup>2</sup>
	Xi	Yi		
2015	5	12740	63700	25
JUMLAH	15	48013	160526	55

(sumber : Triwibowo, 2014)

$$b = \frac{(n \sum xy) - (\sum x \sum y)}{n \sum x^2} = \frac{(5 \times 160526) - (15 \times 48013)}{(5 \times 55) - (15)^2} = 1648,7$$

$$a = \frac{\sum y - b \sum x}{n} = \frac{48013 - 1648,7 \times 5}{5} = 4656,5$$

Untuk menghitung jumlah pergerakan pesawat pada tahun 2035 di gunakan persamaan  $Y = a + bXi$

$$Y_{20} = 4656,5 + (1648,7 \times 20)$$

$$Y_{20} = 37.631$$

Jadi untuk pesawat ATR-72 didapatkan nilai Y pada tahun 2035 adalah 37.631.

Setelah dilakukan perhitungan pesawat tipe lain didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 4.21 Hasil peramalan menggunakan metode regresi linear

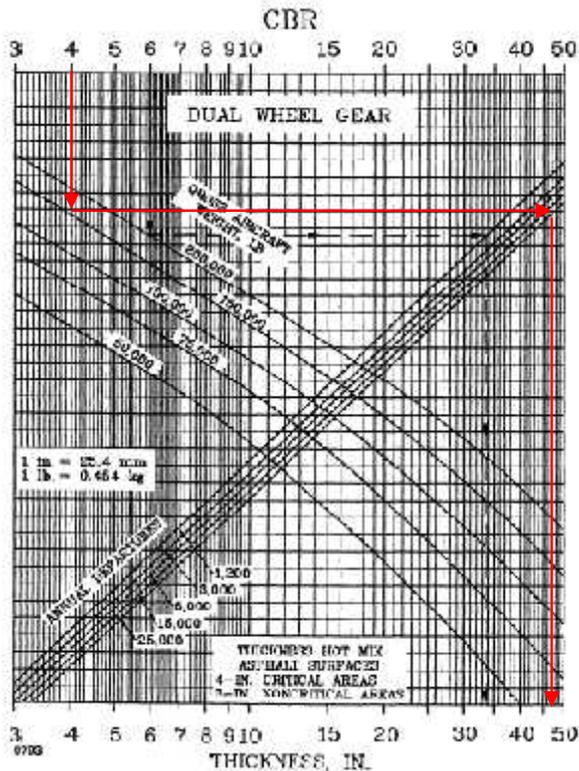
TAHUN	n	JENIS PESAWAT				
		A320	ATR-72	B735	B738	B739
2016	1	1503	3757	511	2845	6305
2017	2	5228	3984	1181	5080	7954
2018	3	8952	4211	1852	7314	9603
2019	4	12677	4438	2522	9549	11251
2020	5	16401	4665	3193	11783	12900
2021	6	20126	4892	3864	14018	14549
2022	7	23850	5119	4534	16252	16197

Tabel 4.21 Lanjutan

TAHUN	n	JENIS PESAWAT				
		A320	ATR-72	B735	B738	B739
2023	8	27575	5346	5205	18487	17846
2024	9	31299	5573	5875	20721	19495
2025	10	35024	5800	6546	22956	21144
2026	11	38748	6026	7217	25190	22792
2027	12	42473	6253	7887	27425	24441
2028	13	46197	6480	8558	29659	26090
2029	14	49922	6707	9228	31894	27738
2030	15	53646	6934	9899	34128	29387
2031	16	57371	7161	10570	36363	31036
2032	17	61095	7388	11240	38597	32684
2033	18	64820	7615	11911	40832	34333
2034	19	68544	7842	12581	43066	35982
2035	20	72269	8069	13252	45301	37631

Dari hasil perhitungan tersebut didapatkan besarnya pergerakan pesawat yang terjadi pada tahun 2035. Dengan menggunakan data pergerakan pesawat ini, dapat hitung perkiraan tebal perkerasan dengan menggunakan metode yang sama yaitu metode grafis. Kemudian nanti akan di bandingkan dengan tebal perkerasan eksisiting yang telah di hitung diawal tadi.





Gambar 4.11 Perkerasan setelah dilakukan peramalan

Dari data pergerakan pesawat, didapatkan nilai annual depature melebihi 200.000, artinya kita harus mengalikan angka ini dengan faktor pengali keberangkatan pesawat diatas 25000 sesuai dengan tabel 4.7. Tebal lapisan didapatkan sebesar 47 inch, kemudian nilai ini dikalikan dengan angka 1,12.

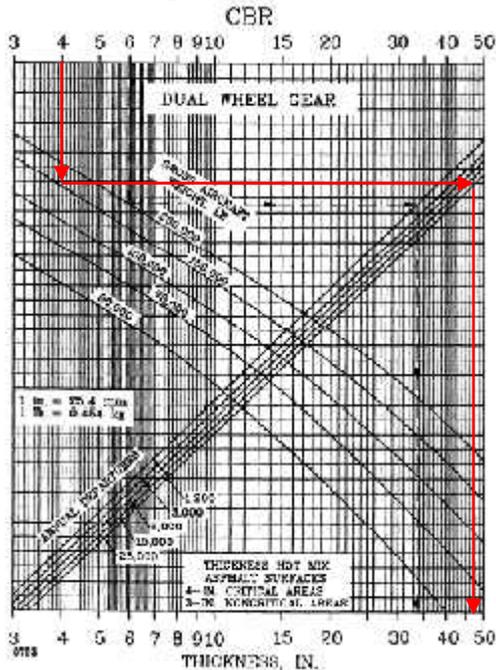
$$47 \times 1,12 = 52,64 \rightarrow 53 \text{ inch}$$

Jadi dapat diartikan bahwa tebal perkerasan eksisting yg didapat sebesar 50 inch, tidak mampu menahan beban pesawat yang beroperasi di tahun 2035.





Pada perhitungan ekivalen pergerakan pesawat tahun 2028, didapatkan data sebesar 93.521. Kemudian, data tersebut diplotkan kembali ke grafik.



Gambar 4.12 Peramalan perkerasan ditahun 2028

Dari data pergerakan pesawat, didapatkan annual departure sebesar 93.521, artinya kita harus mengalikan angka ini dengan faktor pengali keberangkatan pesawat diatas 25000 sesuai dengan tabel 4.7. Tebal lapisan didapatkan sebesar 47 inch, kemudian nilai ini dikalikan dengan angka 1,06.

$$47 \times 1,06 = 49,82 \rightarrow 50 \text{ inch}$$

Jadi dapat diartikan bahwa tebal perkerasan eksisting yg didapat sebesar 50 inch, masih mampu menahan beban pesawat yang terjadi pada tahun 2028.

#### 4.5.2 Perhitungan Peramalan Faarfield

Dengan menggunakan perhitungan menggunakan regresi linear, dapat diketahui persentase peningkatan jumlah pesawat yang terjadi sampai pada tahun ke-20.

Tabel 4.25 Persentase pertumbuhan pesawat tahunan

TAHU N	n	JENIS PESAWAT									
		A320		ATR-72		B735		B738		B739	
		persentase		persentase		persentase		persentase		persentase	
2016	1	1503	19807	3757	7553	511	3371	2845	17145	6305	19045
2017	2	5228	23532	3984	7780	1181	4041	5080	19380	7954	20694
2018	3	8952	27256	4211	8007	1852	4712	7314	21614	9603	22343
2019	4	12677	30981	4438	8234	2522	5382	9549	23849	11251	23991
2020	5	16401	34705	4665	8461	3193	6053	11783	26083	12900	25640
2021	6	20126	38430	4892	8688	3864	6724	14018	28318	14549	27289
2022	7	23850	42154	5119	8915	4534	7394	16252	30552	16197	28937
2023	8	27575	45879	5346	9142	5205	8065	18487	32787	17846	30586
2024	9	31299	49603	5573	9369	5875	8735	20721	35021	19495	32235

Tabel 4.25 Lanjutan

TAHU N	n	JENIS PESAWAT									
		A320		ATR-72		B735		B738		B739	
		persentase		persentase		persentase		persentase		persentase	
2025	10	35024	53328	5800	9596	6546	9406	22956	37256	21144	33884
2026	11	38748	57052	6026	9822	7217	10077	25190	39490	22792	35532
2027	12	42473	60777	6253	10049	7887	10747	27425	41725	24441	37181
2028	13	46197	64501	6480	10276	8558	11418	29659	43959	26090	38830
2029	14	49922	68226	6707	10503	9228	12088	31894	46194	27738	40478
2030	15	53646	71950	6934	10730	9899	12759	34128	48428	29387	42127
2031	16	57371	75675	7161	10957	10570	13430	36363	50663	31036	43776
2032	17	61095	79399	7388	11184	11240	14100	38597	52897	32684	45424
2033	18	64820	83124	7615	11411	11911	14771	40832	55132	34333	47073
2034	19	68544	86848	7842	11638	12581	15441	43066	57366	35982	48722
2035	20	72269	90573	8069	11865	13252	16112	45301	59601	37631	50371
Rata2 pertumbuhan tahunan		7,90		2,28		8,1		6,4		5,0	

Setelah nilai persentase pertumbuhan tahunan masing-masing pesawat didapatkan, kemudian nilai tersebut dimasukkan ke dalam software. Seperti gambar di bawah ini :



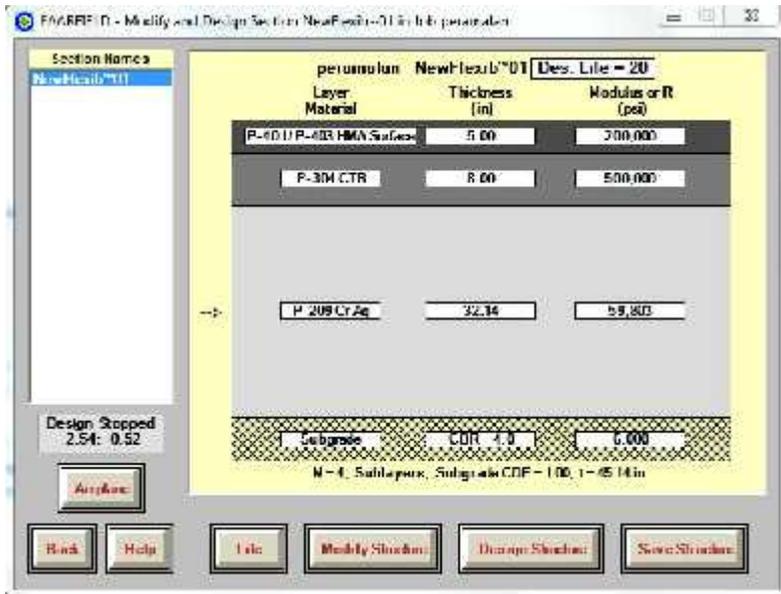
Gambar 4.13 FAARFIELD

Pada gambar diatas, total keberangkatan dari nilai persentase pertumbuhan pesawat dapat juga dicari dengan rumus :

$$N = \left(1 + \frac{b \times L}{200}\right) \times a \times L$$

$$N = \left(1 + \frac{7.9 \times 20}{200}\right) \times 18304 \times 20$$

$$N_{A320} = 655283 \text{ kali}$$



Gambar 4.14 FAARFIELD

Gambar diatas merupakan nilai total perkerasan yang telah dilakukan peramalan menggunakan regresi linear, di dapatkan sebesar 45,14in. Sedangkan pada perhitungan awal yang tidak direncanakan peramalan atau tidak memasukkan nilai pertumbuhan tahunan didapatkan total perkerasan sebesar 45,13in. Jadi pada perhitungan menggunakan software, perkerasan yang didapatkan mampu untuk menampung beban selama 20 tahun kedepan.

Pada perhitungan pekerasan lentur menggunakan FAARFIELD didapatkan ketebalan sebesar 115cm sedangkan pada metode grafis didapatkan ketebalan sebesar 127cm. Dengan menggunakan software yang didapatkan ketebalan sebesar 115cm, mampu menahan beban selama 20tahun, dan diharapkan jika ketebalan 127cm yang didapatkan menggunakan metode

grafis dimasukkan kedalam metode FAARFIELD, akan mampu menahan beban melebihi umur 20 tahun.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil perhitungan dengan *software* FAARFIELD dan perhitungan manual, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- a. Variabel-variabel yang mempengaruhi ketidaksamaan dalam kedua metode tersebut adalah dalam penentuan pesawat rencana, metode yang dilakukan, dan umur perkerasan rencana.
- b. Tebal perkerasan landasan pacu dengan cara grafis diperoleh tebal total perkerasan 127 cm, yang terdiri dari 10 cm *Surface Course*, 33 cm *Base Course*, dan 84 cm *Subbase Course*, sedangkan menggunakan *software* FAARFIELD tebal total perkerasan 115 cm, yang terdiri dari 13 cm *Surface Course*, 20 cm *Base Course*, dan 82 cm *Subbase Course*. Selisih perhitungan grafis dengan *software* FAARFIELD adalah 12 cm atau 9%, sehingga hasil perhitungan grafis lebih tebal dibanding *software* FAARFIELD. Pada perhitungan perkerasan kaku, didapatkan tebal slab beton cara grafis yaitu sebesar 45cm dan menggunakan FAARFIELD, tebal slab beton diperoleh sebesar 46 cm.
- c. Perbedaan tebal perkerasan paling besar 13 cm, pada lapisan *base course*. Pada *software* FAARFIELD, beban pesawat diperhitungkan semua sebagai penyumbang kerusakan perkerasan yang ditunjukkan oleh nilai CDF yang mampu mengakomodasi beban pesawat, berbeda halnya dengan cara grafis yang pesawatnya dikonversi menjadi pesawat rencana. Tebal *base course* dengan menggunakan cara grafis lebih besar dibanding cara *software* FAARFIELD, hal ini disebabkan pada saat melakukan perhitungan, nilai awal *base course* adalah nilai minimum yang berdasarkan tabel minimum *base course* untuk penggunaan material lapisan pondasi atas (AC No.150\_5320\_6E). Tebal perkerasan *surface*

*course* adalah sama menurut ketentuan FAA untuk tebal kritis *surface course* yaitu sebesar 4 in.

- d. Tebal perkerasan ini direncanakan dapat melayani beban pesawat selama 20 tahun. Namun pada perhitungan grafis, ditahun ke-20 perkerasan tak mampu untuk menahan beban pesawat yang ada, kemudian setelah dilakukan perhitungan didapatkan bahwa perkerasan masih mampu menahan beban pesawat pada tahun 2028. Namun perencanaan menggunakan software, program ini langsung menyesuaikan ketebalan perkerasan dengan umur rencana, sehingga tidak ada masalah untuk perencanaan 20 tahun kedepan.

## **5.2 Saran**

- a. Pada perhitungan cara grafis, menggunakan grafik sebagai alat bantu perhitungan, penarikan garis mulai dari CBR, jumlah berat kotor pesawat, dan keberangkatan tahunan seharusnya dilakukan dengan hati-hati dan teliti serta menggunakan grafik yang lebih jelas untuk mengurangi faktor kesalahan.
- b. Jenis konfigurasi roda pendaratan pesawat dalam tugas akhir ini ada dua jenis, maka dihitung konfigurasi roda pendaratan yang lebih banyak untuk mengetahui hasil perhitungan dari berbagai jenis konfigurasi roda pendaratan, sehingga dapat dilihat variasi dari berbagai konfigurasi lainnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Basuki, H. Juni 1984, **Merancang, Merencana Lapangan Terbang**. Google Earth.
- Horonjeff, R. 1994, *Planning and Design of Airports*, 4th Edition, McGraw Hill. ICAO 1984
- Institut Teknologi Sepuluh Nopember. (2006) **Aturan Penyusunan Tugas Akhir**.
- Prasetyo, D. <http://digilib.its.ac.id/perencanaan-tebal-perkerasan-runway-dan-taxiway-bandara-kuala-namu-deli-serdang--sumatra-utara-13838.html>. Surabaya. Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS
- FAA, 1995, AC 150/5320/6D
- FAA, 2009, AC 150/5320/6E
- Triwibowo, Redy. Tugas Akhir, Surabaya, Jurusan Teknik Sipil, 2014.



### **Cok Nanda Late Rezki, AMd**

Penulis dilahirkan di Lubuk sikaping pada tanggal 5 Februari 1992, merupakan anak kedua dari 4 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Thaharah (Lubuk Sikaping), SDN 32 Tanjung Baringin (Lubuk sikaping), SMP Negeri 3 (Lubuk sikaping), SMA Negeri 1 (Lubuk sikaping). Setelah lulus dari SMA Negeri 1 (Lubuk sikaping) tahun 2010. Penulis meneruskan pendidikan Diploma III Politeknik Universitas Andalas yang

saat ini berubah nama menjadi Politeknik Negeri Padang (2010 – 2013) dan diterima di jurusan teknik sipil program studi teknik konstruksi sipil dan transportasi dengan judul Tugas Akhir **“Rencana Pelaksanaan Pembangunan Jalan Surau Usang 2.4 Km Kecamatan Tiltang Kamang Kabupaten Agam”** dan lulus pada tahun 2013. Setelah lulus pada tahun 2013, penulis melanjutkan pendidikan sarjananya di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Jurusan Teknik Sipil (FTSP-ITS) Surabaya melalui Program Lintas Jalur dan terdaftar dengan NRP 3113106013.

Di Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS Surabaya, penulis adalah Mahasiswa Program Sarjana (S1) dengan bidang studi Transportasi dan judul Tugas Akhir **“Analisis Perbandingan Metode Desain Perkerasan Bandara Antara Metode Grafis Dan FAARFIELD Studi Kasus Bandara Juanda”**. Bagi pembaca yang ingin berdiskusi, memberikan kritik dan saran dapat berkerespondensi melalui email [coknanda53@gmail.com](mailto:coknanda53@gmail.com).