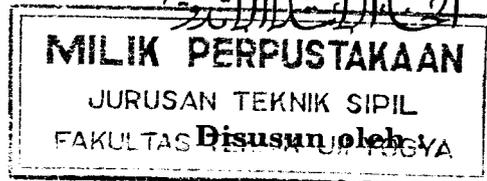


TUGAS AKHIR

ANALISIS LAPIS KERAS LENTUR LANDAS PACU BANDAR UDARA ADISUTJIPTO UNTUK MENAMPUNG LALULINTAS UDARA SAMPAI DENGAN TAHUN 2005



الجامعة الإسلامية
الاندونيسية



Khamud Wibisono

No. Mhs : 89 310 136
NIRM : 89005101311420129

Obet Harison

No. Mhs : 90 310 021
NIRM : 90005101311420019

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA

1996

TUGAS AKHIR

ANALISIS LAPIS KERAS LENTUR LANDAS PACU BANDAR UDARA ADISUTJIPTO UNTUK MENAMPUNG LALULINTAS UDARA SAMPAI DENGAN TAHUN 2005

**Diajukan kepada Universitas Islam Indonesia
untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh
derajat Sarjana Teknik Sipil**

Disusun oleh:

Nama : Khamud Wibisono

No. Mhs : 89 310 136

NIRM : 89005101311420129

Nama : Obet Harison

No. Mhs : 90 310 021

NIRM : 90005101311420019

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA**

1996

TUGAS AKHIR

ANALISIS LAPIS KERAS LENTUR LANDAS PACU BANDAR UDARA ADISUTJIPTO UNTUK MENAMPUNG LALULINTAS UDARA SAMPAI DENGAN TAHUN 2005

Disusun oleh:

Nama : Khamud Wibisono

No. Mhs : 89 310 136

NIRM : 89005101311420129

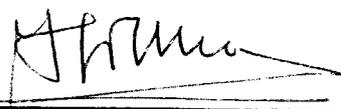
Nama : Obet Harison

No. Mhs : 90 310 021

NIRM : 90005101311420019

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Ir.H. Wardhani Sartono, MSc.
Dosen Pembimbing I


Tanggal: 27-6-96

Ir. H. Bachnas, MSc.
Dosen Pembimbing II


Tanggal: 27-6-'96

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT, yang telah memberikan keluangan waktu, limpahan rahmat, dan hidayah-Nya, sehingga hanya dengan kekuatan yang diberikan kepada kami, maka kami dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir ini dengan judul "**Analisis Lapis Keras Lentur Landas Pacu Bandar Udara Adisutjipto Untuk Menampung Lalulintas Sampai Dengan Tahun 2005**".

Penyusunan Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh jenjang sarjana strata-satu pada jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Dalam kesempatan yang baik ini, kami menyampaikan terima kasih atas segala bantuan yang telah diberikan, baik secara langsung maupun tidak langsung dalam kami menyusun Tugas Akhir ini kepada:

1. Bapak Ir. Susastrawan, MS., selaku dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Ir. Bambang Sulistiono, MSCE., selaku ketua jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak H. Soelaeman S., selaku kepala cabang PT (persero) Angkasa Pura I bandar udara Adisutjipto Yogyakarta.

4. Bapak C.H. Moenandar, selaku kepala Kantor Wilayah XII Departemen Perhubungan DIY.
5. Bapak Ir. H. Wardhani Sartono, MSc., selaku dosen pembimbing I Tugas Akhir.
6. Bapak Ir. H. Bachnas, MSc., selaku dosen pembimbing II Tugas Akhir.
7. Bapak Ir. Subarkah, MS., selaku dosen penguji Tugas Akhir.
8. Ayah, Ibu, dan orang-orang yang sangat kami cintai, atas dorongan dan spirit yang telah diberikan.
9. Rekan-rekan dan semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan Tugas Akhir ini, yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu.

Akhir kata, kami harapkan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat khususnya bagi kami dan umumnya bagi rekan-rekan seprofesi.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Yogyakarta, April 1996

Penyusun

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR NOTASI	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR LAMPIRAN	x
INTISARI	xi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Analisis	5
1.3 Batasan Masalah	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Umum	7
2.2 Khusus	8
2.2.1 Struktur Lapis Keras Lentur	9
2.2.2 Tegangan - Tegangan pada Lapis Keras Lentur	13
2.2.3 Kerusakan - Kerusakan pada Lapis Keras Lentur	16
2.3 Dasar - Dasar Perancangan Tebal Lapis Keras Lentur	18
2.3.1 Kapasitas Lalulintas Udara	20
2.3.2 Karakteristik Pesawat Terbang	22
2.3.3 Kondisi dan Daya Dukung Tanah Dasar	28
2.3.4 Bahan Lapis Keras	28
BAB III LANDASAN TEORI	
3.1 Metode Perancangan CBR	29
3.2 Metode Perancangan FAA	36
3.3 Metode Perancangan LCN	40

BAB IV DATA PERANCANGAN	
4.1 Kapasitas Lalulintas Udara	48
4.2 Karakteristik Pesawat	53
4.3 Kondisi dan Daya Dukung Tanah Dasar	53
4.4 Bahan Lapis Keras	54
4.4.1 Bahan Lapis Permukaan	54
4.4.2 Bahan Lapis Pondasi Atas	60
4.4.3 Bahan Lapis Pondasi Bawah	61
4.5 Data Landas Pacu	63
BAB V ANALISIS PERANCANGAN DAN PEMBAHASAN	
5.1 Analisis Perancangan	64
5.1.1 Metode CBR	64
5.1.2 Metode FAA	69
5.1.3 Metode LCN	77
5.2 Pembahasan Hasil Analisis	83
5.2.1 Tinjauan Umum	83
5.2.2 Tinjauan Teknis	84
5.2.3 Tinjauan Ekonomis	86
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	
6.1 Kesimpulan	89
6.2 Saran	90
DAFTAR PUSTAKA	92
LAMPIRAN - LAMPIRAN	

DAFTAR NOTASI

a	= konstanta
A	= luas bidang kontak roda
A_c	= bidang kontak satu roda
α_j	= faktor pengurangan beban
b	= <i>slope</i>
C	= <i>coverage</i> (lintasan roda untuk melewati setiap titik di lajur lalu lintas)
CBR	= california bearing ratio (nilai CBR subgrade)
d	= jarak tepi dalam roda
d_1	= kelebihan tebal <i>subbase course</i>
d_2	= kelebihan tebal <i>base course</i>
ESWL	= <i>equivalent single wheel load</i>
EAD	= <i>equivalent annual departures</i>
f	= persentase tebal rencana ($0.23 \log C + 0.15$)
H_t	= tebal total lapis keras
H_1	= tebal <i>surface coarse</i>
H_2	= tebal <i>base course</i>
H_3	= tebal <i>subbase course</i>
n	= jumlah tahun yang dianalisis
N	= jumlah roda pada satu <i>main gear</i>
MTOW	= <i>maximum take off weight</i>
p	= intensitas beban
P	= beban roda tunggal
P_d	= beban roda ganda
r	= radius bidang kontak
r	= koefisien korelasi
R_1	= EAD pesawat rencana
R_2	= <i>annual departures</i> pesawat campuran
S_d	= jarak roda dari sumbu ke sumbu

- t = tebal rencana
- t_0 = waktu uji
- t_1 = tebal kelebihan *base course* pengganti *subbase course*
- t_2 = tebal kelebihan *surface course* pengganti *base course*
- W_1 = beban satu roda pesawat rencana
- W_2 = beban satu roda pesawat campuran
- x = *koding* (waktu)
- y = jumlah lalu lintas pesawat
- Z = kedalaman penbebanan akibat roda pesawat

DAFTAR GAMBAR

- Gambar 1.1 Layout proyek pengembangan fasilitas dan prasarana bandar udara Adisutjito Yogyakarta
- Gambar 2.1 Struktur lapis keras
- Gambar 2.2 Pembagian regangan dan tegangan
- Gambar 2.3 Geometrik pesawat terbang
- Gambar 3.1 Layout *traffic area* untuk perencanaan lapis keras lentur
- Gambar 3.2 Kurva desain lapis keras untuk pembebanan pesawat berat dengan konfigurasi roda pendaratan utama *dual tandem*
- Gambar 3.3 Kurva desain lapis keras untuk pembebanan pesawat *medium* dengan konfigurasi roda pendaratan utama *dual wheel*
- Gambar 3.4 Kurva desain lapis keras untuk pembebanan pesawat ringan dengan konfigurasi roda pendaratan utama *single wheel*
- Gambar 3.5 Kurva penggolongan beban standar
- Gambar 3.6 Kurva hubungan bidang kontak - beban kegagalan
- Gambar 3.7 Nilai LCN dinyatakan dalam ESWL, tekanan roda, dan bidang kontak
- Gambar 3.8 Analisis ESWL untuk pesawat *dual wheel*
- Gambar 3.9 Analisis ESWL untuk pesawat *dual tandem*
- Gambar 4.1 Grafik prakiraan lalulintas udara bandar udara Adisutjipto Yogyakarta
- Gambar 5.1 Bagan alir analisis tebal lapis keras landas pacu metode CBR
- Gambar 5.2 Bagan alir analisis tebal lapis keras landas pacu metode FAA
- Gambar 5.3 Bagan alir analisis tebal lapis keras landas pacu metode LCN
- Gambar 5.4 Analisis ESWL untuk pesawat B-737-300

DAFTAR TABEL

- Tabel 2.1 Faktor ekuivalen untuk lapis fondasi atas
- Tabel 2.2 Faktor ekuivalen untuk lapis pondasi bawah
- Tabel 2.3 Kapasitas tahunan praktis landas pacu untuk perencanaan jangka panjang
- Tabel 2.4 Beban pesawat saat pengoperasian
- Tabel 2.5 Konfigurasi roda pendaratan utama
- Tabel 3.1 Persyaratan perancangan metode CBR
- Tabel 3.2 Ketebalan minimum untuk pembebanan pesawat berat
- Tabel 3.3 Ketebalan minimum untuk pembebanan pesawat *medium*
- Tabel 3.4 Ketebalan minimum untuk pembebanan pesawat ringan
- Tabel 3.5 Faktor konversi ke pesawat rencana
- Tabel 3.6 Koreksi tebal lapis keras untuk tingkat EAD total > 25.000
- Tabel 3.7 Hubungan antara beban roda tunggal, tekanan roda, dan nilai LCN
- Tabel 4.1 Data lalu lintas udara tahun 1990 - 1995
- Tabel 4.2 Analisis *trend* pergerakan pesawat
- Tabel 4.3 Prakiraan lalu lintas udara
- Tabel 4.4 Kategori pesawat campuran menurut kapasitas rata-rata penumpang yang dapat diangkut
- Tabel 4.5 Prakiraan pergerakan pesawat menurut kapasitas rata-rata penumpang yang dapat diangkut
- Tabel 4.6 Karakteristik pesawat untuk perancangan lapis keras
- Tabel 4.7 Gradasi limit agregat aspal penetrasi untuk *binder course*
- Tabel 4.8 Spesifikasi batas toleransi hasil gradasi agregat
- Tabel 4.9 Gradasi agregat untuk *asphalt cement*
- Tabel 4.10 Gradasi kadar bitumen
- Tabel 4.11 Batas toleransi *Marshall test*
- Tabel 4.12 Gradasi untuk *base course/crushed stone* dengan batuan pecah

- Tabel 4.13 Gradasi untuk *subbase course/granular course* dengan batuan *granular*
- Tabel 4.14 Gradasi untuk *subbase course/compacted sand*
- Tabel 5.1 Pergerakan dan karakteristik pesawat menurut jenis pesawat
- Tabel 5.2 Hasil akhir tebal lapis keras metode CBR
- Tabel 5.3 Perbandingan tebal lapis keras landas pacu analisis metode CBR
- Tabel 5.4 Pemilihan pesawat rencana
- Tabel 5.5 Konversi ke tipe roda pendaratan pesawat rencana
- Tabel 5.6 Perhitungan EAD pesawat rencana
- Tabel 5.7 Hasil akhir tebal lapis keras metode FAA
- Tabel 5.8 Perbandingan tebal lapis keras landas pacu analisis metode FAA
- Tabel 5.9 Perhitungan nilai ESWL
- Tabel 5.10 Nilai LCN berdasarkan ESWL dan tekanan roda
- Tabel 5.11 Hasil akhir tebal lapis keras metode LCN
- Tabel 5.12 Perbandingan tebal lapis keras landas pacu analisis metode LCN
- Tabel 5.13 Hasil perancangan tebal lapis keras lentur metode CBR, FAA, dan LCN
- Tabel 5.14 Perhitungan harga kontruksi untuk metode CBR
- Tabel 5.15 Perhitungan harga kontruksi untuk metode FAA
- Tabel 5.16 Perhitungan harga kontruksi untuk metode LCN

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Data lalu lintas angkutan udara tahun 1975 - 1990
- Lampiran 2 Grafik *trend* pergerakan pesawat tahun 1975 - 1990
- Lampiran 3 Data lalu lintas angkutan udara tahun 1990 - 1995
- Lampiran 4 Data lalu lintas angkutan udara menurut jenis pesawat pada tahun 1995
- Lampiran 5 Data karakteristik pesawat yang dipertimbangkan untuk perancangan lapis keras
- Lampiran 6 Spesifikasi pesawat B-737-300
- Lampiran 7 Spesifikasi bandar udara Adisutjipto Yogyakarta
- Lampiran 8 Data landas pacu bandar udara Adisutjipto Yogyakarta
- Lampiran 9 Kurva perencanaan lapis keras lentur untuk B-737-300
- Lampiran 10 Kurva perencanaan tebal minimum *base course*
- Lampiran 11 Kurva perencanaan lapis keras lentur untuk landas pacu metode LCN
- Lampiran 12 Daftar harga material

Intisari

Pesatnya pertumbuhan industri pariwisata di Yogyakarta, khususnya untuk wisata seni dan budaya, membuat keberadaan bandar udara Adisutjipto sebagai salah satu gerbang masuk kota Yogyakarta menjadi sangat penting. Pada proses ini menuntut mobilitas yang tinggi, dengan tingkat kecepatan, ketepatan dan kenyamanan yang optimal. Terjadinya beberapa peristiwa kecelakaan di landas pacu bandar udara Adisutjipto beberapa waktu yang lalu, menjadi salah satu pertimbangan dalam melakukan evaluasi terhadap kemampuan landas pacu yang ada, untuk melayani lalulintas udara di masa yang akan datang.

Dalam Tugas Akhir ini, studi dilakukan dengan cara menganalisis kinerja landas pacu yang ada untuk melayani lalulintas udara sampai dengan tahun 2005, sehingga pesawat B-737-300 dapat beroperasi secara penuh. Metode perancangan yang digunakan adalah metode CBR, FAA, dan LCN. Prediksi lalulintas udara dihitung dengan menggunakan analisis trend pergerakan pesawat dari data lalulintas tahunan bandar udara Adisutjipto antara tahun 1990 - 1995. Dari analisis ini, dapat diketahui prediksi pergerakan pesawat sampai dengan tahun 2005. Analisis landas pacu yang dilakukan, adalah pada aspek struktur lapis keras lentur saja, sehingga dengan menggunakan prediksi pergerakan pesawat pada tahun 2005 dapat diketahui tingkat kemampuan landas pacu dari masing-masing metode perancangan yang digunakan.

Dalam analisis ini, ternyata struktur lapis keras landas pacu bandar udara Adisutjipto masih mampu menampung lalulintas udara sampai dengan tahun 2005 dengan pesawat rencana B-737-300.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bandar udara merupakan salah satu prasarana perhubungan udara yang mempunyai peranan sangat penting dalam penyelenggaraan angkutan udara, dan menjadi tempat semua aktivitas pelayanan jasa angkutan udara bertemu. Keberhasilan dalam penyediaan pelayanan jasa angkutan udara, akan tercermin dari kemampuan teknis bandar udara dalam memenuhi berbagai kepentingan tersebut, sehingga dapat dikatakan bahwa produk bandar udara merupakan hasil dari pelaksanaan operasional setiap tahunnya, serta tingkat pelayanan yang dihasilkan oleh bandar udara tersebut. [Djoko M, 1995]

Pesatnya pertumbuhan industri pariwisata di Yogyakarta (khususnya wisata seni dan budaya) sejalan dengan perkembangan pembangunan, dapat dilihat dari meningkatnya arus lalu lintas orang dan barang yang melalui bandar udara Adisutjipto. Dengan pertumbuhan industri tersebut, menjadikan bandar udara Adisutjipto sebagai gerbang masuk kota Yogyakarta, sangat menunjang kelancaran program pemerintah dalam rangka pembangunan.

Landas pacu merupakan salah satu komponen dalam suatu sistem bandar udara, kinerjanya sangat mempengaruhi seluruh kegiatan operasional bandar udara tersebut. Seringnya terjadi kecelakaan pesawat di landas pacu bandar udara Adisutjipto, menjadikan landas pacu yang ada dirasakan kurang aman untuk melayani pesawat berbadan lebar (khususnya DC-9 dan B-737). Contoh kecelakaan pesawat yang pernah terjadi [Wardhani S., 1995], antara lain:

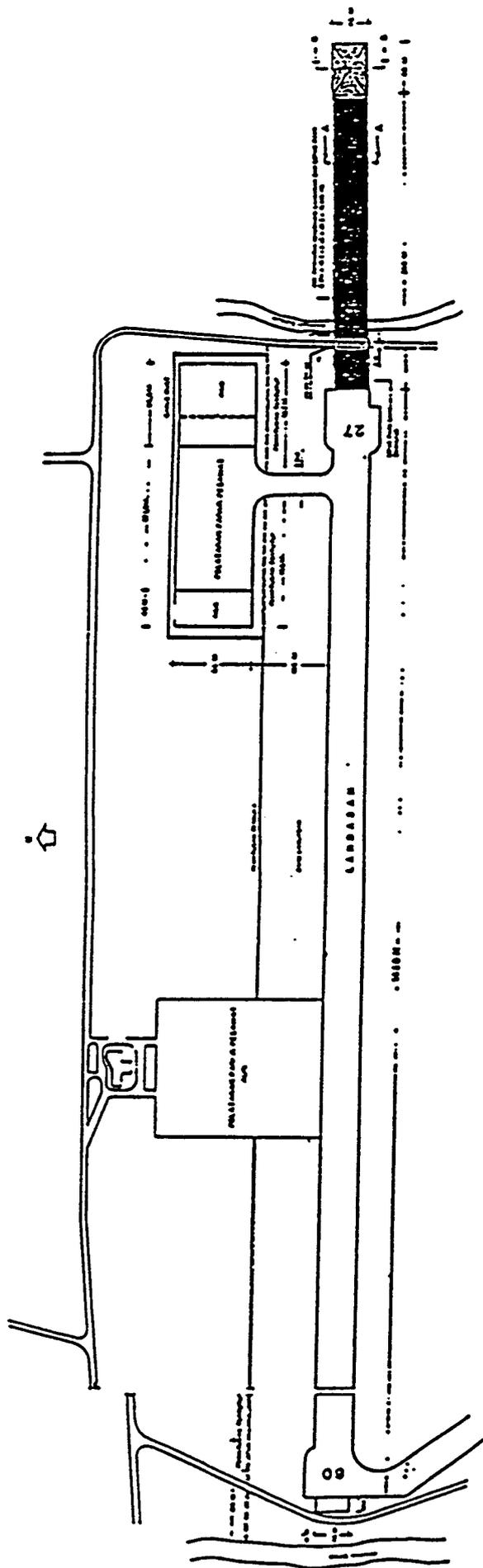
1. Pada tanggal 23 November 1994, pesawat DC-9 Garuda rute Jakarta-Yogyakarta mengalami kecelakaan di bandar udara Adisutjipto Yogyakarta. Korban tidak ada.
2. Pada tanggal 9 Desember 1994, pesawat DC-9 MNA rute Denpasar-Yogyakarta mengalami kecelakaan di bandar udara Adisutjipto Yogyakarta. Korban tidak ada. Kerugian lainnya: rute penerbangan menuju Yogyakarta dialihkan menuju bandar udara Adisumarmo Solo selama dua hari.
3. Pada tanggal 13 Januari 1995, pesawat B-737-300 Garuda rute Jakarta-Yogyakarta-Denpasar tergelincir diujung sebelah timur landas pacu bandar udara Adisutjipto Yogyakarta. Korban tidak ada. Kerugian lainnya: rute penerbangan menuju Yogyakarta dialihkan menuju bandar udara Adisumarmo Solo selama setengah hari.

4. Pada tanggal 16 Januari 1995, pesawat B-737-200 Sempati rute Jakarta-Yogyakarta-Denpasar tergelincir diujung sebelah timur landas pacu bandar udara Adisutjipto Yogyakarta. Korban tidak ada. Kerugian lainnya: rute penerbangan menuju Yogyakarta dialihkan menuju bandar udara Adisumarmo Solo, dan bandar udara Adisutjipto Yogyakarta dinyatakan oleh Menteri Perhubungan sebagai **RESTRICTED AIRPORT**, yang berarti pesawat terbang sekelas dengan DC-9 dan B-737 tidak boleh mendarat di bandar udara ini, khususnya pada saat cuaca buruk dan turun hujan.

Dengan terjadinya kecelakaan tersebut, maka pada tahun anggaran 1995-1996 telah dilakukan perpanjangan landas pacu ke arah timur dari landas pacu yang sudah ada sebelumnya (lihat gambar 1.1).

Dewasa ini, belum ada metode perancangan lapis keras untuk bandar udara yang dianggap standar oleh ICAO (*International Civil Aviation Organization*). Beberapa metode perancangan lapis keras untuk bandar udara yang diakui oleh ICAO [Wardhani S., 1992], antara lain:

1. Metode CBR (*California Bearing Ratio*).
2. Metode FAA (*Federal Aviation Administration*).
3. Metode LCN (*Load Classification Number*), dan lain-lain.



Gambar 1.1 Layout proyek pengembangan fasilitas dan prasarana bandar udara Adisutjipto

Sumber: Departemen Perhubungan DIY [1995]

Mengingat pentingnya peranan landas pacu, maka dalam Tugas Akhir ini akan dianalisis kemampuan lapis keras lentur landas pacu untuk menampung lalu lintas udara dalam kurun waktu sepuluh tahun mendatang, dengan mengambil judul "**Analisis Lapis Keras Lentur Landas Pacu Bandar Udara Adisutjipto Untuk Menampung Lalu lintas Udara Sampai Dengan Tahun 2005**".

1.2 Tujuan Analisis

Tujuan analisis ini, adalah memprediksi kemampuan lapis keras lentur landas pacu bandar udara Adisutjipto untuk menampung lalu lintas udara sampai dengan tahun 2005, guna memberikan panduan pada pelaksanaan evaluasi kinerja landas pacu secara periodik.

1.3 Batasan Masalah

Dalam tugas akhir ini, studi dilakukan dengan pembahasan masalah lebih dititikberatkan pada analisis ketebalan lapis keras landas pacu yang didapat dari hasil perancangan metode CBR, FAA, dan LCN.

Dengan data perancangan yang didapat dari Kantor Wilayah XII Departemen Perhubungan DIY dan PT (persero) Angkasa Pura I bandar udara Adisutjipto Yogyakarta, ketebalan lapis keras untuk masing-masing lapisan dirancang dengan menggunakan ketiga metode perancangan tersebut.

Hasil perancangan ketebalan lapis keras dengan metode CBR, FAA, dan LCN, kemudian dianalisis dengan ketebalan lapis keras landas pacu yang ada. Dari hasil analisis perbandingan ketebalan lapis keras landas pacu yang ada dengan ketiga metode CBR, FAA, dan LCN, dapat diketahui kemampuan landas pacu bandar udara Adisutjipto sampai pada waktu yang direncanakan dengan prakiraan pertumbuhan lalu lintas udara, dan penyebab dari perbedaan ketebalan ketiga metode perancangan tersebut.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Secara umum struktur lapis keras, adalah suatu konstruksi yang terdiri dari beberapa lapisan dengan daya dukung dan ketebalan yang berlainan. Fungsi utama lapis keras, adalah untuk mendukung beban lalu lintas yang bekerja di atasnya secara aman dan nyaman, sehingga tidak terjadi kerusakan yang cukup berarti selama umur rencana. Untuk itu, lapis keras perlu dirancang dan dibangun sedemikian rupa, sehingga mampu menahan beban lalu lintas dan kondisi lingkungan disekitarnya.

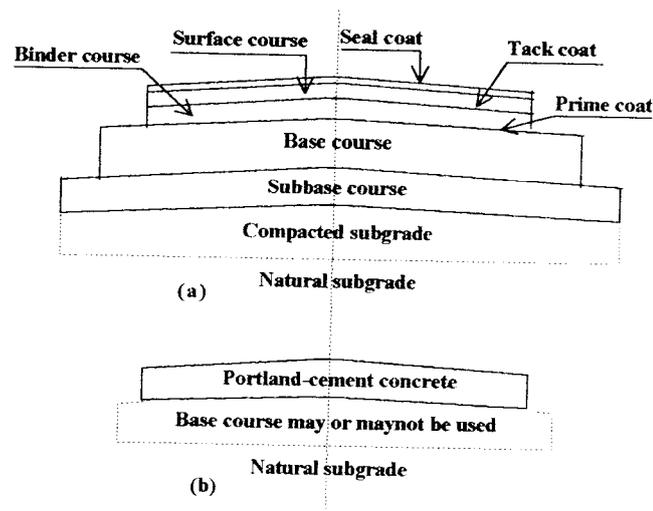
Struktur lapis keras menurut bahan pengikatnya dapat dibedakan menjadi dua jenis [E.J. Yoder dan M.W. Witczak, 1975], yaitu:

1. Lapis Keras Lentur (*Flexible Pavement*)

Lapis keras lentur (*flexible pavement*), adalah lapis keras yang menggunakan bahan pengikat aspal, dan lapisan lapis keras lainnya bersifat mendukung dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar. Umumnya, lapis keras lentur terdiri dari lapis permukaan (*surface course*), lapis pondasi atas (*base course*), lapis pondasi bawah (*subbase course*), dan tanah dasar (*subgrade*).

2. Lapis Keras Tegar (*Rigid Pavement*)

Lapis keras tegar (*rigid pavement*), adalah lapis keras dengan bahan pengikat semen *portland* (*portland cement*). Lapis keras tegar, umumnya terdiri dari pelat beton semen *portland* dengan atau tanpa pondasi atas (*base course*) yang berlandaskan pada *subgrade*.



a. Lapis keras lentur b. Lapis keras tegar

Gambar 2.1 Struktur lapis keras

Sumber: E.J. Yoder dan M.W Witzcak [1975]

2.2 Khusus

Struktur lapis keras lentur (*structural flexible pavement*), adalah konstruksi yang mendukung beban pesawat yang berhubungan dengan struktur, stabilitas, kriteria dimensi, kemampuan *manuver*, pengendalian, dan operasi lainnya.

Di Indonesia, hampir semua landas pacu menggunakan struktur lapis keras lentur. Untuk bandar udara tertentu yang memerlukan kajian khusus, misalnya bandar udara Internasional Soekarno-Hatta Cengkareng, landas pacu ditetapkan menggunakan lapis keras kaku. Ada beberapa keuntungan jenis lapis keras lentur digunakan untuk landas pacu dibandingkan dengan jenis lapis keras tegar [Wardhani S., 1995], antara lain:

1. Beban yang didukung merupakan beban dinamik (pesawat yang bergerak).
2. Pemeliharaan berkala relatif lebih mudah.
3. Bagi perusahaan penerbangan, yaitu keawetan (*durability*) roda pesawat (*main landing gear wheel*) terhadap keausan, akibat gesekan antara roda pesawat dengan permukaan landas pacu lebih lama.
4. Bagi *crew* dan penumpang, yaitu kenyamanan pada saat lepas landas maupun mendarat lebih nyaman.

2.2.1 Struktur Lapis Keras Lentur

Struktur lapis keras lentur, terdiri dari lapis permukaan (*surface course*), lapis pondasi atas (*base course*), dan lapis pondasi bawah (*subbase course*) yang dihamparkan pada permukaan tanah dasar (*subgrade*) yang telah diperbaiki mutunya (tanah dasar dapat berupa galian atau timbunan yang telah dipadatkan).

1. Lapis Permukaan (*Surface Course*)

Lapis permukaan, adalah lapisan atas yang mempunyai tekstur kekesatan (*skid resistance*), kekasaran (*roughness*), kerataan (*evenness*), meneruskan, dan menyebarkan beban yang didukung lapis atas ke lapis *base course*. Lapis permukaan [Wardhani S., 1992], terdiri dari:

- a. ***Wearing Course***, berfungsi sebagai lapis aus yang dapat diganti/dikupas, jika permukaan lapis keras mengalami kerusakan (cacat/aus) atau akan diperlakukan sebagai lapis pondasi atas bagi lapisan permukaan yang baru.
- b. ***Binder Course***, berfungsi untuk menyediakan lapis ikat yang rata bagi *wearing course* dan menerima beban dari *wearing course* yang kemudian diteruskan pada lapis pondasi dibawahnya.

Selain itu, fungsi dari lapis permukaan adalah untuk mencegah daya tembus air permukaan ke lapisan dibawahnya, memberi kebebasan permukaan yang terikat dari partikel-partikel bebas yang dapat membahayakan pesawat terbang maupun penumpang, menahan tekanan gesek yang disebabkan oleh roda pesawat, dan menyempurnakan kualitas tekstur lapisan tersebut sehingga tidak mudah slip.

2. Lapis Pondasi Atas (*Base Course*)

Lapis pondasi atas, adalah komponen struktur lapis keras lentur yang berfungsi dalam mendistribusikan tekanan roda pesawat yang diterima dari lapis permukaan ke lapis pondasi bawah, sehingga mampu menahan tekanan vertikal yang dapat mengakibatkan pengukuhan dan distorsi pada lapis permukaan, serta menahan perubahan volume yang disebabkan oleh naik turunnya kadar kelembaman. Penggunaan bahan yang distabilisasi akan memberikan keuntungan pada tebal akhir lapisan ini, dengan syarat tebal minimum tidak boleh kurang dari tebal yang disyaratkan oleh lapis pondasi atas.

Wardhani S. [1992], menyatakan bahwa faktor ekuivalen yang menunjukkan rasio ketebalan substitusi dapat digunakan pada lapis pondasi atas yang distabilisasi. Ketebalan material yang distabilisasi dapat dihitung dengan membagi kebutuhan ketebalan dasar dengan faktor ekuivalen, yang dirangkum dalam tabel 2.1 berikut ini.

Tabel 2.1 Faktor ekuivalen untuk lapis pondasi atas

No	Material	Faktor Ekuivalen
1	Lapis permukaan berbitumen	1.2 - 1.6
2	Lapis pondasi atas berbitumen	1.2 - 1.6
3	Lapis pondasi atas berbitumen, digelar dingin	1.0 - 1.2
4	Lapis pondasi atas, digelar setempat	1.0 - 1.2
5	Lapis pondasi atas, dengan bahan pengikat semen	1.2 - 1.6
6	Lapis pondasi atas dari campuran tanah dan semen	Tidak berlaku
7	Lapis pondasi atas dari batu pecah (CBR 80 %)	1.0
8	Lapis pondasi bawah	Tidak berlaku

Sumber: Wardhani S. [1992]

3. Lapis Pondasi Bawah (*Subbase Course*)

Lapis pondasi bawah, mempunyai fungsi meneruskan dan menyebarkan beban roda pesawat dari lapis pondasi atas ke tanah dasar, tetapi intensitas pembebanannya lebih kecil. Penggunaan bahan yang distabilisasi akan memberikan keuntungan pada tebal akhir lapisan ini.

Wardhani S. [1992], menyatakan bahwa faktor ekuivalen yang menunjukkan rasio ketebalan substitusi dapat digunakan pada lapis pondasi bawah yang distabilisasi. Ketebalan material yang distabilisasi dapat dihitung dengan membagi kebutuhan tebal dasar granular dengan faktor ekuivalen, yang dirangkum dalam tabel 2.2 berikut ini.

Tabel 2.2 Faktor ekuivalen untuk lapis pondasi bawah

No	Material	Faktor Ekuivalen
1	Lapis permukaan berbitumen	1.7 - 2.3
2	Lapis pondasi atas berbitumen	1.7 - 2.3
3	Lapis pondasi atas berbitumen, digelar dingin	1.5 - 1.7
4	Lapis pondasi atas, digelar setempat	1.5 - 1.7
5	Lapis pondasi atas, dengan bahan pengikat semen	1.6 - 2.3
6	Lapis pondasi atas dari campuran tanah dan semen	1.5 - 2.0
7	Lapis pondasi atas dari batu pecah	1.4 - 2.0
8	Lapis pondasi bawah (CBR 20 %)	1.0

Sumber: Wardhani S. [1992]

4. Lapis Tanah Dasar (*Subgrade*)

Lapis tanah dasar, adalah lapis dasar yang mendukung lapis keras secara keseluruhan. Tanah sebagai dasar (*subgrade*), berfungsi untuk menahan tekanan yang diberikan oleh lapisan di atasnya, sehingga tekanan yang diterima oleh *subgrade* lebih kecil dibandingkan dengan tekanan pada lapisan di atasnya.

Tekanan pada lapis tanah dasar akan berkurang sesuai dengan kedalamannya, kecuali bila kondisi tanah yang tidak biasa. Kondisi yang tidak biasa tersebut seperti *subgrade* berlapis / kerapatan / kadar air yang bervariasi. Selain itu, kemampuan tanah untuk menahan gesekan dan deformasi akan bervariasi, sesuai dengan kadar kelembaman dan kerapatannya. Kondisi ini harus diperiksa selama penelitian tanah.

2.2.2 Tegangan - Tegangan pada Lapis Keras Lentur

Struktur lapis keras lentur yang didirikan di atas tanah dasar, dimaksudkan agar tegangan yang terjadi sebagai akibat dari beban lalu lintas di atasnya, dapat disebarkan secara merata. Karena sifat penyebaran gaya oleh beban tersebut, maka tegangan yang diterima oleh masing-masing lapisan akan berbeda-beda (semakin ke bawah, semakin kecil tegangan yang diterima), sehingga tegangan yang sampai pada tanah dasar diharapkan tidak melampaui kapasitas daya dukung tanah yang ada.

Ada beberapa jenis tegangan yang mempengaruhi lapis keras landas pacu [R. Horonjeff dan F.X. McKelvey, 1994], antara lain:

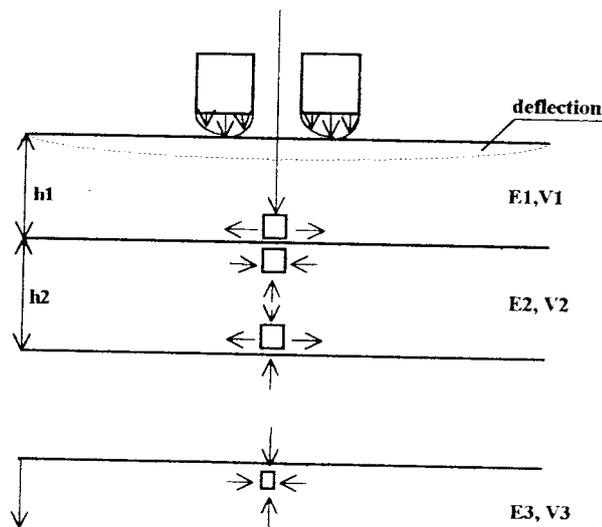
1. Tegangan akibat pembebanan roda pesawat.
2. Tegangan akibat perbedaan temperatur dan kelembaman.
3. Tegangan akibat gesekan dan pengereman.

1. Tegangan Akibat Pembebanan Roda Pesawat

Secara analitis, tebal lapis keras dirancang atas dasar tekanan, regangan, dan perpindahan pada bidang pemisah dibawah pusat daerah yang diheban. Dua kriteria rancangan utama yang dipergunakan adalah nilai modulus elastisitas dan *ratio poissons* untuk setiap lapisan, yang diuraikan sebagai berikut:

- a. Regangan tarik horisontal pada bagian bawah lapisan dengan bahan pengikat aspal. Besarnya regangan tarik horisontal tergantung dari karakteristik kelelahan dari campuran aspal, dengan nilai batas menurut *Shell Oil Company* sebesar 2.3×10^{-4} in/in, pada pengulangan regangan 10^6 . Jika regangan ini melebihi nilai batas, maka akan terjadi retak pada lapisan aspal.

- b. Regangan tekan vertikal pada permukaan tanah dasar (*subgrade*).
 Besarnya regangan tekan vertikal tergantung pada jumlah pembebanan, dengan nilai batas menurut *Shell Oil Company* ditetapkan sebesar 10.3×10^{-4} in/in pada pengulangan regangan 10^6 . Jika regangan ini melebihi nilai batas, maka deformasi permanen akan terjadi pada *subgrade*, dan akhirnya dapat menimbulkan deformasi permanen pada lapis permukaan, yang mengakibatkan bentuk lapis permukaan yang bergelombang. Pembagian tegangan dan regangan dapat dilihat pada gambar 2.2 berikut ini.



Gambar 2.2 Pembagian tegangan dan regangan
 Sumber: R. Horonjeff dan F.X. McKelvey [1994]

2. Tegangan Akibat Perbedaan Temperatur dan Kelembaman

Kondisi lingkungan yang melingkupi lapis keras sangat berpengaruh terhadap lapis permukaan. Hal ini disebabkan lapis keras terletak pada tempat yang tidak terlindung, maka perbedaan temperatur dan kelembaman sangat mempengaruhi bentuk dari lapis permukaan. Selain itu, suhu dan tekanan udara yang sangat tinggi akan menambah gaya pengereman yang besar, sehingga kemampuan udara untuk melawan gaya sangat kecil.

3. Tegangan Akibat Gesekan dan Pengereman

Tegangan akibat gesekan ini, ditimbulkan oleh pesawat pada saat melakukan *manuver* (tinggal landas/mendarat). Gaya gesek yang terbesar diberikan oleh roda pada saat pesawat mendarat, dan melakukan pengereman. Hal ini dapat dilihat adanya pancaran kilat api antara roda pendaratan pesawat dengan lapis keras landas pacu, terutama pada malam hari.

2.2.3 Kerusakan - Kerusakan pada Lapis Keras Lentur

Pemeliharaan dan pemantauan terhadap kinerja landas pacu dapat dilakukan secara periodik, agar kerusakan-kerusakan yang terjadi pada lapis keras dapat segera diketahui dan diperbaiki. Beberapa jenis kerusakan yang sering terjadi pada lapis keras lentur landas pacu [Djoko M., 1995], antara lain:

1. Retak kulit buaya (*alligator cracking*).
2. Retak pinggir (*edger cracking*).
3. Lendutan permanen / alur bekas roda (*rutting*).

1. Retak Kulit Buaya (*Alligator Cracking*)

Retak kulit buaya, adalah retak yang membentuk celah-celah saling berangkaian atau kotak-kotak kecil yang menyerupai kulit buaya. Retak ini disebabkan oleh mutu bahan lapis keras yang kurang baik, pelapukan permukaan, dan lapisan bawah lapis keras kurang stabil atau dalam keadaan jenuh air. Daerah terjadinya retak ini, pada umumnya tidak terlalu luas. Jika ternyata cukup luas, mungkin hal ini disebabkan oleh repetisi beban lalu lintas yang melampaui batas beban yang dapat didukung oleh lapis permukaan.

2. Retak Pinggir (*Edger Cracking*)

Retak pinggir, adalah retak arah memanjang atau melintang pada landas pacu, biasanya retak ini diikuti dengan retak cabang yang mengarah pada bahu lapis keras. Retak ini disebabkan oleh sistem drainasi yang kurang baik, dan perbedaan penurunan (*differential settlement*) pada tanah dasar.

3. Lendutan Permanen / Alur Bekas Roda (*Rutting*)

Kerusakan ini terjadi, karena lapis keras menerima beban yang berlebihan atau tidak sesuai dengan perancangan semula. Salah satu faktor penyebab utama lendutan pada struktur lapis keras, disebabkan adanya pergerakan bahan pembentuk lapis keras dalam jumlah yang tidak diinginkan.

Alur dapat merupakan tempat menggenangnya air hujan yang jatuh diatas permukaan landas pacu, sehingga mengurangi tingkat kenyamanan, dan akhirnya dapat menimbulkan retak.

2.3 Dasar - Dasar Perancangan Tebal Lapis Keras Lentur

Perencanaan bandar udara merupakan suatu proses yang demikian rumitnya, sehingga analisis suatu kegiatan harus memperhatikan pengaruhnya terhadap kegiatan lainnya. Perencanaan bandar udara akan berhasil dengan baik, jika didasarkan pada pedoman-pedoman yang dibuat berdasarkan rencana induk dan sistem bandar udara secara menyeluruh.

Heru Basuki [1985], menyatakan bahwa rencana induk adalah konsep pengembangan lapangan terbang secara ultimit, dalam arti pengembangan di seluruh areal lapangan terbang, operasi penerbangan dan tata guna tanah sekitarnya. Rencana induk yang menjadi pedoman pengembangan dikemudian hari, adalah bagian operasi penerbangan yang memadai, selaras dengan lingkungan, dan pengembangan masyarakat, serta sarana transportasi penunjang lainnya. Secara rinci tujuan rencana induk dari suatu bandar udara adalah sebagai berikut:

1. Pedoman untuk pengembangan fasilitas fisik bandar udara.
2. Pedoman bagi tata guna tanah dan pengembangannya, didalam dan sekitar bandar udara.
3. Petunjuk mengenai pengaruh lingkungan dari pembangunan bandar udara dan operasi penerbangan.
4. Petunjuk mengenai kebutuhan pembuatan jalan masuk dan keluar dari bandar udara (*access interface*).

5. Pedoman tentang kelayakan ekonomi, dan finansial yang diinginkan dari pengembangan bandar udara.
6. Pedoman untuk membuat rencana perbaikan-perbaikan secara prioritas.

Rencana induk (*master plan*) dari bandar udara [Heru Basuki, 1985], paling sedikit harus berisi antara lain:

1. Ramalan tahunan dan jam-jam sibuk harian yang mencakup operasi penerbangan, jumlah penumpang, volume barang, dan lalu lintas darat.
2. Alternatif pemecahan persoalan dari kebutuhan-kebutuhan yang diramalkan secara memadai dan memuaskan dengan memperhatikan pengaruh-pengaruhnya terhadap lingkungan, keselamatan, dan ekonomi.
3. Analisis biaya investasi dan keuntungannya.
4. Pengaruh lingkungan dan cara mengatasinya.

Proses perencanaan sistem bandar udara yang berkesinambungan, diperlukan untuk memenuhi kebutuhan transportasi udara yang dapat berubah sesuai dengan perubahan permintaan pelayanan penerbangan, kebijaksanaan pemerintah, teknologi baru, dan berbagai faktor lainnya.

Setiap perencanaan harus selalu disertai alternatif perencanaan lebih lanjut. Pilihan terhadap perencanaan yang ada, memberikan rasio terbesar antara keuntungan terhadap investasi, dan yang memiliki kemungkinan rasio terbesar untuk dipilih sebagai rancangan perencanaan.

Perancangan tebal lapis keras landas pacu [Agus T.M., 1994], dirancang berdasarkan:

1. Kapasitas lalulintas udara.
2. Karakteristik pesawat terbang.
3. Kondisi dan daya dukung tanah dasar.
4. Bahan lapis keras.

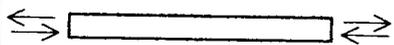
2.3.1 Kapasitas Lalulintas Udara

R. Horonjeff dan F.X. McKelvey [1994], mendefinisikan kapasitas dalam dua definisi. Pertama, kapasitas adalah jumlah operasi pesawat terbang selama jangka waktu tertentu, yang berkesesuaian dengan tingkat penundaan rata-rata yang dapat diterima (kapasitas praktis). Kedua, kapasitas adalah jumlah operasi pesawat terbang maksimum yang dapat dilakukan pada suatu bandar udara selama jangka waktu tertentu, ketika terdapat permintaan akan pelayanan yang berkesinambungan (kapasitas ultimit). Permintaan akan pelayanan yang berkesinambungan itu, berarti selalu terdapat pesawat yang siap untuk lepas landas.

Perbedaan penting kedua definisi kapasitas tersebut, bahwa kapasitas praktis dinyatakan dalam penundaan, sedangkan kapasitas ultimit tidak dinyatakan dalam penundaan. Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa kapasitas ultimit mencerminkan kemampuan bandar udara untuk melayani pesawat selama jangka waktu tertentu pada kegiatan puncak.

Hubungan konfigurasi landas pacu dengan kapasitas tahunan praktis landas pacu untuk perencanaan jangka panjang, dapat dilihat dalam tabel 2.3 berikut ini.

Tabel 2.3 Kapasitas tahunan praktis landas pacu untuk perencanaan jangka panjang

Konfigurasi Landas Pacu	Mix. Index, % (C + 3D)	Kapasitas, operasi per jam		Volume pelayanan Tahunan, operasi per Tahun
		VFR	IFR	
 <i>Arrivals = Departures</i>	0-20	98	59	230,000
	21-50	74	57	195,000
	51-80	63	56	205,000
	81-120	55	53	210,000
	121-180	51	50	240,000

(Hanya diambil untuk konfigurasi landas pacu tunggal/*single runway*)

Sumber: R. Horonjeff dan F.X. McKelvey [1994]

Untuk mengetahui pertumbuhan lalulintas udara di masa yang akan datang, dilakukan analisis *trend* lalulintas pesawat dengan menggunakan persamaan berikut ini. [B.D. Greensheilds dan F.M. Wieda, 1978]

$$y = a + bx \quad (2-1)$$

dengan: y = jumlah lalulintas pesawat,

a = konstanta,

b = slope, dan

x = koding (waktu).

Koefisien korelasi digunakan untuk menyatakan hubungan variabel x dan y, didapat dengan menggunakan persamaan berikut ini.

$$r = \frac{n \cdot \sum X \cdot Y - \sum X \cdot \sum Y}{\sqrt{[n \cdot \sum X^2 - (\sum X)^2] \cdot [n \cdot \sum Y^2 - (\sum Y)^2]}} \quad (2-2)$$

Dengan: r = koefisien korelasi,

n = jumlah tahun yang dianalisis,

x = variabel independent yang dianalisis trend (waktu), dan

y = variabel pergerakan pesawat yang dianalisis.

Uji waktu digunakan untuk menyatakan hubungan variabel x yang dianalisis terhadap masa yang akan datang, didapat dengan menggunakan persamaan berikut ini.

$$t_0 = \frac{r \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad (2-3)$$

Dengan: t_0 = uji waktu,

r = koefisien korelasi, dan

n = jumlah tahun yang dianalisis.

2.3.2 Karakteristik Pesawat Terbang

Karakteristik pesawat terbang digunakan untuk merencanakan fasilitas-fasilitas yang diperlukan oleh pesawat tersebut. Dalam perencanaan bandar udara, karakteristik pesawat terbang akan mempengaruhi ukuran tempat parkir (*apron*), lebar landas pacu (*runway*), dan landas panghubung (*taxiway*).

Karakteristik pesawat terbang yang berhubungan dengan perancangan lapis keras bandar udara [Wardhani S., 1992], antara lain:

1. Beban pesawat.
2. Konfigurasi roda pendaratan utama pesawat.

1. Beban Pesawat

Beban pesawat diperlukan untuk menentukan tebal lapis keras landas pacu yang dibutuhkan. Beberapa jenis beban pesawat yang berhubungan dengan pengoperasian pesawat [Wardhani S., 1992], antara lain:

- a. Berat Kosong Operasi ($OWM = \textit{Operating Weight Empty}$), adalah beban utama pesawat, termasuk awak pesawat dan konfigurasi roda pesawat, tetapi tidak termasuk muatan (*payload*), dan bahan bakar.
- b. Muatan (*Payload*), adalah beban pesawat yang diperbolehkan untuk diangkut oleh pesawat sesuai dengan persyaratan angkut pesawat. Biasanya beban muatan menghasilkan pendapatan (beban yang dikenai biaya). Secara teoritis, beban maksimum ini merupakan perbedaan antara berat bahan bakar kosong dan berat operasi kosong.
- c. Berat Bahan Bakar Kosong ($ZFW = \textit{Zero Fuel Weight}$), adalah beban maksimum yang terdiri dari berat operasi kosong, beban penumpang, dan barang.

- d. Berat Lereng Maksimum (MRW = *Maximum Ramp Weight*), adalah beban maksimum untuk melakukan gerakan (*manuver*), atau berjalan dari parkir pesawat ke pangkal landas pacu. Selama melakukan gerakan ini, maka akan terjadi pembakaran bahan bakar, sehingga pesawat akan kehilangan berat.
- e. Berat Maksimum Lepas Landas (MTOW = *Maximum Take Off Weight*), 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*).
- f. Berat Maksimum Pendaratan (MLW = *Maximum Landing Weight*), adalah beban maksimum pada saat roda pesawat menyentuh lapis keras (mendarat), sesuai dengan bobot pesawat dan persyaratan kelayakan penerbangan.

Untuk lebih jelasnya mengenai pengertian beban pesawat saat pengoperasian, dirangkum dalam tabel 2.4 berikut ini.

Tabel 2.4 Beban pesawat saat pengoperasian

Komponen Pesawat	Berat Dasar	Crew	Gear	Muatan	Bahan Bakar				
					man.	t.o	Trav.	Ld.	Res.
<i>OWE</i>	*	*	*	-	-	-	-	-	-
<i>Payload</i>	-	-	-	*	-	-	-	-	-
<i>Max. payload</i>	-	-	-	*max.	-	-	-	-	-
<i>ZFW</i>	*	*	*	*max.	-	-	-	-	-
<i>MRW</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>MTOW</i>	*	*	*	*	-	*	*	*	*
<i>MLW</i>	*	*	*	*	-	-	-	*	*

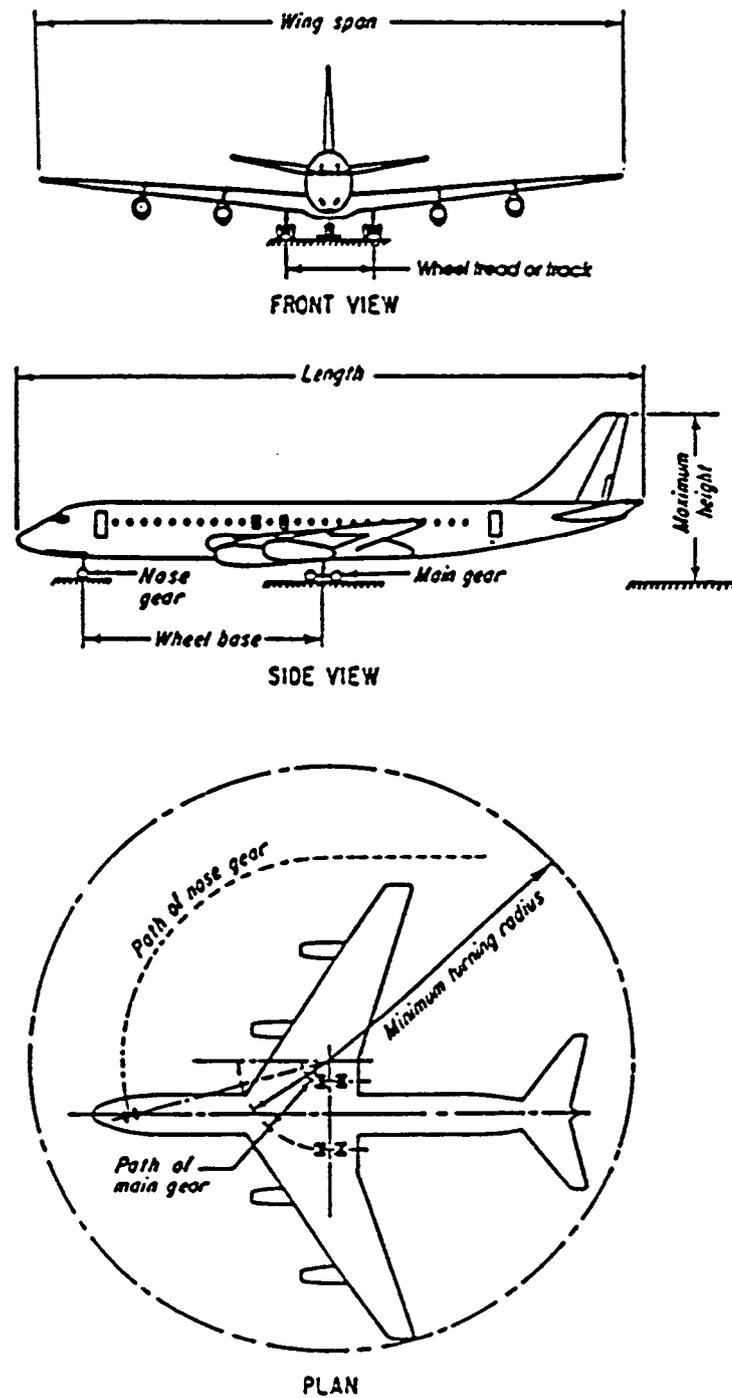
Catataan: man. = *Manuver* (gerakan), t.o = *Take off* (tinggal landas), trav. = *Travelling* (perjalanan), Ld. = *Landing* (mendarat), res. = *Reserve* (cadangan),
Tanda (*) = diperhitungkan, dan Tanda (-) = tidak diperhitungkan.

Sumber: Wardhani S. [1992]

2. Konfigurasi Roda Pendaratan Utama Pesawat

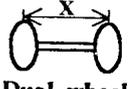
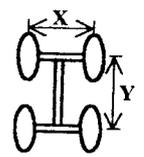
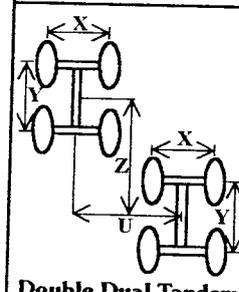
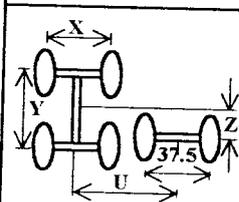
Selain berat pesawat, konfigurasi roda pendaratan utama sangat berpengaruh terhadap perancangan tebal lapis keras. Pada umumnya, konfigurasi roda pendaratan utama dirancang untuk menyerap gaya-gaya yang ditimbulkan selama melakukan pendaratan (semakin besar gaya yang ditimbulkan semakin kuat roda yang digunakan), dan untuk menahan beban yang lebih kecil dari beban pesawat lepas landas maksimum. Dan selama pendaratan berat pesawat akan berkurang akibat terpakainya bahan bakar yang cukup besar.

Konfigurasi roda pendaratan utama, ukuran, dan tekanan pemompaan tipikal untuk beberapa jenis pesawat dirangkum dalam tabel 2.5, sedangkan untuk geometrik pesawat dapat dilihat pada gambar 2.3 berikut ini.



Gambar 2.3 Geometrik pesawat terbang
 Sumber: R. Horonjeff dan F.X. McKelvey [1994]

Tabel 2.5 Konfigurasi roda pendaratan utama

Susunan Roda Pendaratan Utama	Tipe	Ukuran (inci)					Tekanan Pemompan Tipikal (lb/in ²)
		X	Y	Z	U	V	
 Dual wheel	B-727 B-737 MD-81	34.0 30.5 28.1					168 148 170
 Dual Tandem	A-300 A-310 A-320 B-707-122B B-707-320B B-720B B-757 B-767 Concorde DC-8-61 DC-8-62 DC-8-63 DC-10-10 L-1011-500	36.5 36.5 30.7 34.0 34.6 32.0 34.0 45.0 26.4 30.0 32.0 32.0 54.0 52.0	55.0 55.0 39.5 56.0 56.0 49.0 45.0 56.0 65.7 55.0 56.0 55.0 64.0 70.0				181 172 149 170 180 145 161 183 184 188 187 196 173 184
 Double Dual Tandem	B-747-100 B-747-200 B-747-400 B-747SP	44.0 44.0 44.0 44.0	58.0 58.0 58.0 58.0	121.1 121.1 121.1 121.1	141.0 141.0 141.0 141.0		192 204 195 205
 A-340 DC-10-30 DC-10-40	A-340 DC-10-30 DC-10-40	55.0 54.0 54.0	78.0 64.0 64.0	39.0 30.0 30.0	211.0 216.0 216.0	38.0 37.5 37.5	157* 165**

*) Tekanan roda tengah sebesar 134 psi mendukung 16 persen dari berat total

***) Tekanan roda tengah sebesar 140 psi mendukung 16 persen dari berat total

Sumber: R. Horonjeff dan F.X. McKelvey [1994]

2.3.3 Kondisi dan Daya Dukung Tanah Dasar

Tanah adalah lapis dasar pendukung struktur lapis keras lentur, yang berguna untuk menyebarkan beban yang diterima dari lapis pondasi bawah (*subbase course*) ke tanah dasar. Untuk mengetahui kondisi dan daya dukung tanah dasar, harus dilakukan pengujian kepadatan tanah dengan cara menggali tanah pada lokasi landas pacu (test CBR di lapangan), dan mengambil sampel tanah untuk dilakukan test CBR di laboratorium.

Dengan mengetahui kepadatan tanah dasar akan menentukan ketebalan lapis keras tersebut, sehingga kondisi tanah dasar sangat diperlukan untuk perancangan lapis keras.

2.3.4 Bahan Lapis Keras.

Perencanaan bahan lapis keras, dilakukan untuk menentukan bahan penyusun dan komposisi lapis keras tersebut. Dengan menentukan bahan penyusun untuk setiap lapis, dapat direncanakan ketebalan minimum yang dibutuhkan, sehingga mampu menjamin bahwa tegangan untuk setiap lapis tidak akan menimbulkan kerusakan yang terlalu dini.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Metode Perancangan CBR (*California Bearing Ratio*)

Metode CBR pertama kali dikembangkan oleh *California Division of Highways*, 1928. Metode CBR kemudian dipakai oleh *Corps of Engineers, US Army* untuk keperluan bandar udara militer, setelah pecah Perang Dunia II.

Prinsip metode CBR ini, nilai lapis keras dinyatakan dalam CBR, yaitu suatu nilai yang menunjukkan perbandingan kekuatan bahan yang diuji terhadap bahan tertentu yang dinyatakan dalam persentase. Pengujian CBR pada masing-masing lapis keras, adalah untuk mengetahui indeks kuat geser lapisan tersebut. Contoh CBR 50, berarti beban yang dibutuhkan bagi torak untuk mempenetrasi setiap sampel lapis keras pada kedalaman tertentu, sebesar separuh dari yang dibutuhkan piston untuk mempenetrasi batu pecah standar pada kedalaman yang sama.

Pada tahun 1958, suatu analisis dari seluruh data pelayanan yang tersedia untuk prototip bandar udara, menunjukkan bahwa kriteria perancangan metode CBR dengan beban roda tunggal, dapat dinyatakan dalam parameter: tebal per akar pangkat dua dari bidang kontak (t/\sqrt{A}), dan CBR per tekanan roda, serta memisahkan beban kegagalan tetapi bukan beban kegagalan untuk operasi yang mendekati kapasitas (kurang lebih 5000 lintasan).

Pernyataan matematis untuk hubungan parameter tersebut, dapat dinyatakan dengan menggunakan persamaan berikut ini.

$$t = \sqrt{\frac{P}{8.1(CBR)} - \frac{A}{\pi}} \quad (3-1)$$

dengan: t = tebal rencana (in),
 P = beban roda tunggal (lbs),
 A = bidang kontak roda (in²), dan
 CBR = CBR (%).

Untuk perhitungan pengulangan beban dengan konfigurasi roda ganda atau lebih, maka beban roda ganda dianggap ekuivalen dengan roda tunggal (ESWL), sehingga persamaan (3-1) menjadi:

$$t = f \sqrt{\frac{ESWL}{8.1(CBR)} - \frac{A}{\pi}} \quad (3-2)$$

dengan: f = persentase tebal rencana ($0.23 \log C + 0.15$),
 $ESWL$ = beban roda tunggal ekuivalen, dan
 C = *coverage* (lintasan roda untuk melewati setiap titik dilajur lalulintas satu kali).

Penelaahan yang dilakukan oleh *Corps of Enginners*, terhadap lapis keras yang menerima beban poros roda pendaratan pesawat berat, dengan susunan banyak roda (misalnya B-747), menunjukkan bahwa tebal lapis keras yang didapat pada pengulangan beban yang lebih besar, akan kurang memadai apabila digunakan persamaan (3-2).

Oleh karena itu, perancangan metode CBR kemudian menggunakan persamaan berikut ini.

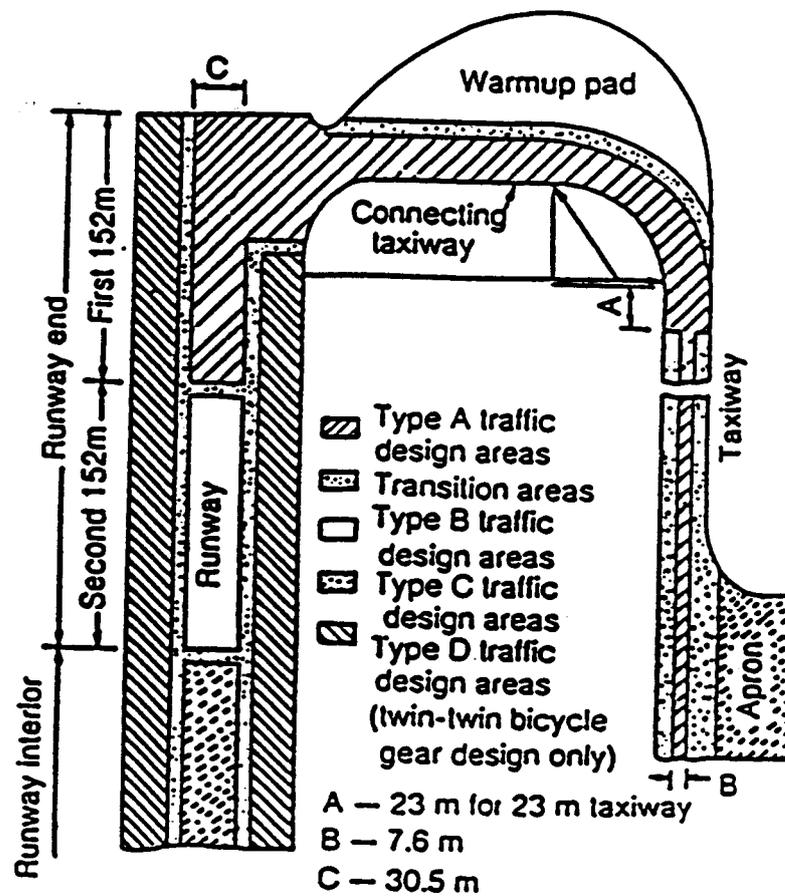
$$t = \alpha_j \sqrt{\frac{ESWL}{8.1(CBR)} - \frac{A}{\pi}} \quad (3-3)$$

dengan: α_j = faktor pengulangan beban.

Dari hasil penelaahan yang dilakukan oleh *Corps of Enginners*, terhadap perancangan ketebalan lapis keras tersebut diatas, maka setiap pesawat yang akan beroperasi di bandar udara dikategorikan kedalam daerah pembebanan pesawat dan *traffic area* yang bekerja pada lapis keras [E.J. Yoder dan M.W. Witczak, 1975], yaitu:

1. Pembebanan untuk pesawat berat dengan konfigurasi roda pendaratan utama *dual tandem*, dan *traffic area* tipe A, B, C, D, *access aprons*, *overrun*.
2. Pembebanan untuk pesawat *medium* dengan konfigurasi roda pendaratan utama *dual wheel*, dan *traffic area* tipe A, B, C, *access aprons*, *overrun*.
3. Pembebanan lapis keras untuk pesawat ringan dengan konfigurasi roda pendaratan utama *single wheel*, dan *traffic area* tipe B, C, *overrun*.

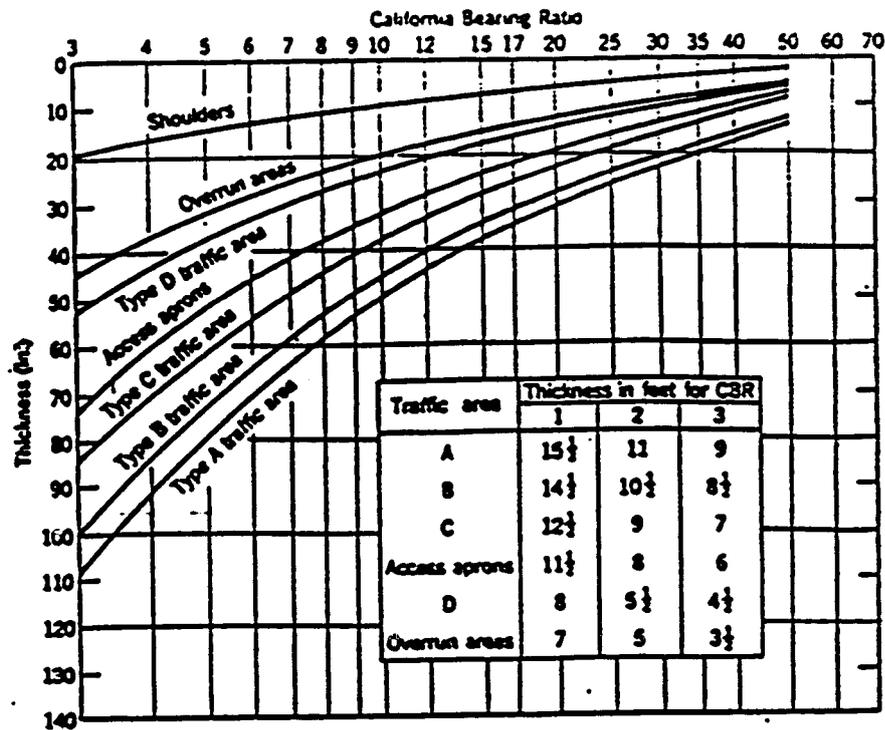
Layout traffic area untuk perancangan lapis keras lentur dengan metode CBR, dapat dilihat pada gambar 3.1 berikut ini.



Gambar 3.1 Layout *traffic areas* untuk perencanaan lapis keras lentur dengan metode CBR

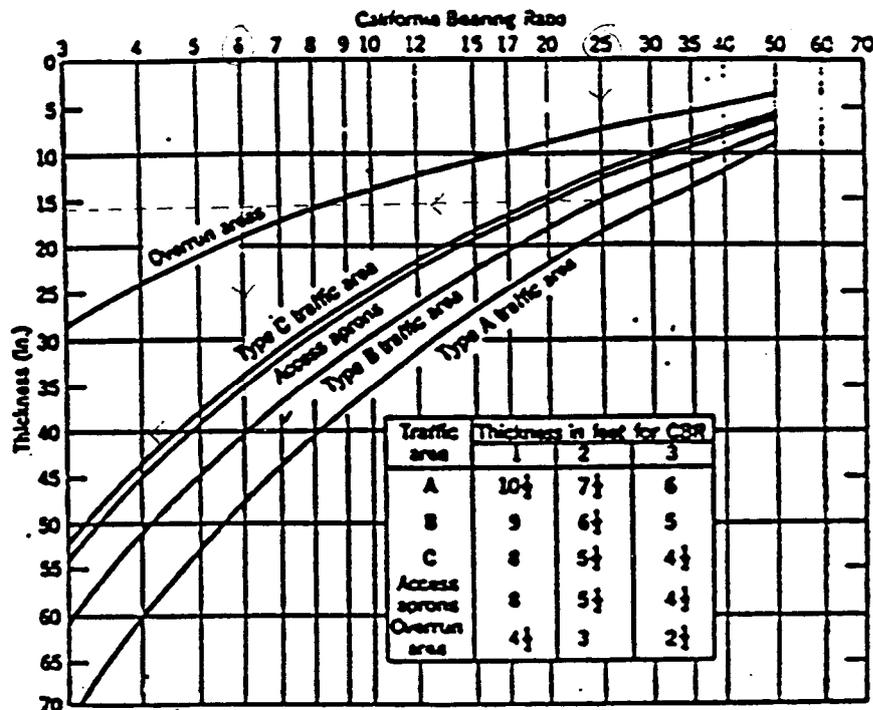
Sumber: E.J. Yoder dan M.W. Witczak [1975]

Untuk perancangan tebal lapis keras dengan kategori pembebanan pesawat dan konfigurasi roda pendaratan utama pesawat, didapat dengan menggunakan gambar 3.2 - 3.4 berikut ini.



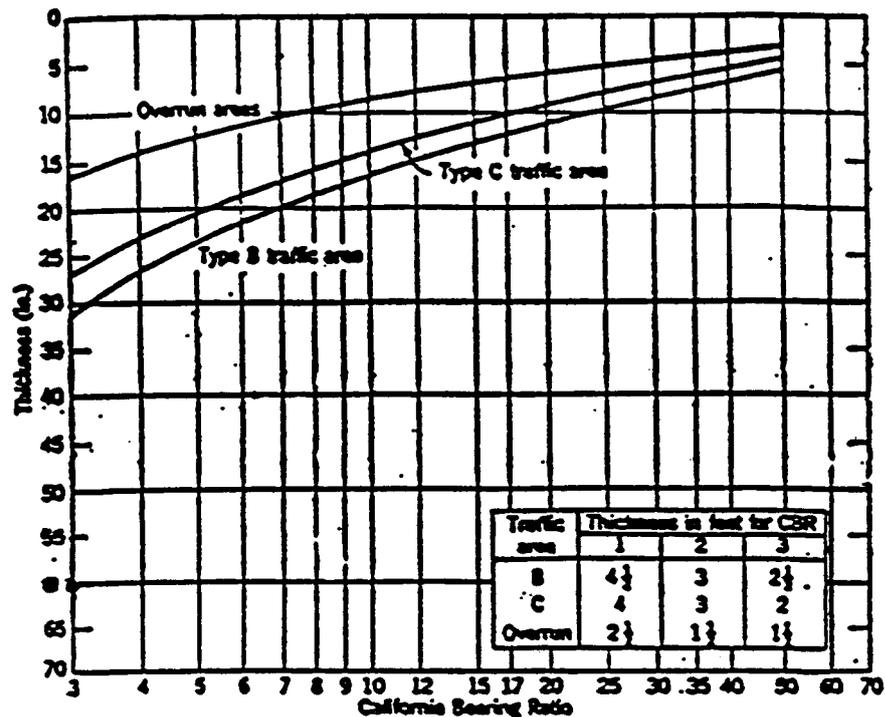
Gambar 3.2 Kurva desain lapis keras untuk pembebanan pesawat berat dengan konfigurasi roda pendaratan utama *dual tandem*

Sumber: E.J. Yoder dan M.W. Witzczak [1975]



Gambar 3.3 Kurva desain lapis keras untuk pembebanan pesawat *medium* dengan konfigurasi roda pendaratan utama *dual wheel*

Sumber: E.J. Yoder dan M.W. Witzczak [1975]



Gambar 3.4 Kurva desain lapis keras untuk pembebanan pesawat ringam dengan konfigurasi roda pendaratan utama *single wheel*

Sumber: E.J. Yoder dan M.W. Witzczak [1975]

Perancangan lapis keras lentur metode CBR diatas, harus memenuhi persyaratan nilai CBR dan gradasi material yang digunakan untuk *subbase*, seperti dalam tabel 3.1 berikut ini.

Tabel 3.1 Persyaratan perancangan metode CBR

No	Lapisan	Max. CBR Rencana	% Max. Passing Gradation Requirements				
			Ukuran (in)	No.10	No.200	LL	PI
1	Subbase	50	3	50	15	25	5
2	Subbase	40	3	80	15	25	5
3	Subbase	30	3	100	15	25	5
4	Material Terpilih	20	3	-	25	35	12

Keterangan: LL = *Liquid limit*, dan PI = *Plasticity index*

Ambil sampel dengan nilai CBR lebih rendah

Sumber: E.J. Yoder dan M.W. Witzczak [1975]

Ketebalan *surface* dan *base course* minimum untuk setiap daerah pembebanan pesawat harus memenuhi persyaratan, seperti yang dirangkum dalam tabel 3.2 - 3.4 berikut ini.

Tabel 3.2 Ketebalan minimum untuk pembebanan pesawat berat

No	Traffic Area	CBR Base Course 100 % Ketebalan Minimum (in)			CBR Base Course 80 % Ketebalan Minimum (in)		
		Surface Course	Base Course	Total	Surface Course	Base Course	Total
1	A	5	10	15	6	9	15
2	B	4	9	13	5	8	13
3	C	4	9	13	5	8	13
4	D	3	6	9	3	6	9
5	Access Aprons	3	6	9	2	6	8
6	Overrun	2	6	8	2	6	8

Sumber: E.J. Yoder dan M.W. Witzak [1975]

Tabel 3.3 Ketebalan minimum untuk pembebanan pesawat *medium*

No	Traffic Area	CBR Base Course 100 % Ketebalan Minimum (in)			CBR Base Course 80 % Ketebalan Minimum (in)		
		Surface Course	Base Course	Total	Surface Course	Base Course	Total
1	A	4	6	10	5	6	11
2	B	4	6	9	4	6	10
3	C	3	6	9	4	6	10
4	Access Aprons	3	6	9	3	6	9

Sumber: E.J. Yoder dan M.W. Witzak [1975]

Tabel 3.4 Ketebalan minimum untuk pembebanan pesawat ringan

No	Traffic Area	CBR Base Course 100 % Ketebalan Minimum (in)			CBR Base Course 80 % Ketebalan Minimum (in)		
		Surface Course	Base Course	Total	Surface Course	Base Course	Total
1	B	3	6	9	4	6	10
2	C	3	6	9	3	6	9
3	Access Aprons	3	6	9	4	6	10

Sumber: E.J. Yoder dan M.W. Witzak [1975]

3.2 Metode Perancangan FAA (*Federal Aviation Administration*)

Metode perancangan lapis keras lentur bandar udara yang dikembangkan oleh FAA, tercantum dalam *Advisory Circular - Airport Pavement Design and Evaluation AC 150 / 5320 - 6C*. Perancangan lapis keras dengan metode FAA, diperhitungkan untuk masa pelayanan selama 20 tahun, tanpa adanya pemeliharaan yang cukup berarti, apabila tidak ada perubahan pesawat yang harus dilayani (beban pesawat sesuai dengan rancangan).

Langkah awal dalam menentukan tebal lapis keras, adalah menentukan pesawat rencana, yaitu pesawat terbesar yang direncanakan akan beroperasi di bandar udara yang menghasilkan total *equivalen annual departures* terbesar, sehingga didapat tebal lapis keras terbesar. Hal ini dikenal dengan konsep ekuivalen keberangkatan tahunan ($EAD = \text{Equivalent Annual Departures}$).

EAD dari pesawat rencana, dihitung dari penjumlahan EAD dari setiap pesawat campuran, dengan menggunakan persamaan berikut ini. [R. Horonjeff dan F.X. McKelvey, 1994]

$$\text{Log } R_1 = \text{log } R_2 \left[\frac{W_2}{W_1} \right]^{0.5} \quad (3-4)$$

dengan: $R_1 =$ EAD pesawat rencana,

$R_2 =$ *Annual Departures* pesawat campuran,

$W_1 =$ beban satu roda pesawat rencana, dan

$W_2 =$ beban satu roda pesawat campuran.

Untuk jenis pesawat campuran, yang mempunyai konfigurasi roda pendaratan berlainan dengan pesawat rencana, maka perhitungan *Annual Departures* harus dikonversikan kedalam konfigurasi roda pendaratan pesawat rencana. Faktor konversi antara konfigurasi roda pendaratan pesawat campuran dikonversikan kedalam pesawat rencana, dirangkum dalam tabel 3.5 berikut ini.

Tabel 3.5 Faktor konversi ke pesawat rencana

Konversi Dari	Ke	Faktor Konversi
<i>Single wheel</i>	<i>Dual wheel</i>	0.8
<i>Single wheel</i>	<i>Dual tandem</i>	0.5
<i>Dual wheel</i>	<i>Dual tandem</i>	0.6
<i>Double dual tandem</i>	<i>Dual tandem</i>	1.0
<i>Dual tandem</i>	<i>Single wheel</i>	2.0
<i>Dual tandem</i>	<i>Dual wheel</i>	1.7
<i>Dual wheel</i>	<i>Single wheel</i>	1.3
<i>Double dual tandem</i>	<i>Dual wheel</i>	1.7

Catatan: Konfigurasi roda pendaratan utama dapat dilihat pada tabel 2.5

Sumber: R. Horonjeff dan F.X. McKelvey [1994]

Dalam perhitungan beban pesawat [Agus T.M., 1994], mengasumsikan bahwa beban pesawat (baik pesawat rencana maupun pesawat campuran), adalah berat pesawat lepas landas maksimum (MTOW) didukung oleh konfigurasi roda pendaratan utama (prosentase distribusi pada masing-masing *main gear* dan *nose gear*).

Beban roda pesawat rencana (W_1) dan pesawat campuran (W_2), didapat dengan menggunakan persamaan berikut ini.

$$W_1 = \% \text{ distribusi main gear} \times \text{MTOW pesawat rencana} \times \frac{1}{N} \quad (3-5)$$

$$W_2 = \% \text{ distribusi main gear} \times \text{MTOW pesawat campuran} \times \frac{1}{N} \quad (3-6)$$

Dengan: W_1 = beban pesawat rencana,

W_2 = beban pesawat campuran,

MTOW = berat lepas landas maksimum (lbs.), dan

N = jumlah roda pada masing-masing main gear.

Untuk ketebalan lapis keras dengan pesawat berbadan lebar yang mempunyai konfigurasi roda pendaratan utama berbeda, seperti B-747, DC-10, dan L-1011, perhitungan berat lepas landas kotor dianggap seberat 300,000 lbs dengan roda pendaratan utama *dual tandem* dalam perhitungan *Equivalent Annual Departures*.

Hasil penyelidikan yang dilakukan FAA, menunjukkan bahwa beban roda pesawat, pada umumnya disebarkan pada daerah lateral dari permukaan lapis keras selama operasional. Demikian juga untuk sistem landas pacu, sifat-sifat aerodinamik pesawat akan menyalurkan beban yang sebenarnya pada lapis keras.

FAA memberikan toleransi untuk perubahan ketebalan lapis keras pada daerah permukaan yang berbeda [R. Horonjeff dan F.X. McKelvey, 1994], sebagai berikut:

1. Tebal penuh T dirancang untuk daerah kritis yang sering dilalui oleh roda pesawat, seperti parkir pesawat (*apron*), daerah tunggu (*holding area*), bagian tengah landas penghubung (*taxiway*), dan bagian tengah landas pacu (*runway*).
2. Tebal lapis keras 0.9T dirancang untuk daerah persimpangan antara landas penghubung dengan landas pacu.
3. Tebal lapis keras 0.7T dirancang untuk daerah yang jarang dilalui oleh roda pesawat (daerah transisi landas pacu), seperti bagian tepi luar landas penghubung, dan bagian tepi luar landas pacu.

Untuk tingkat EAD total yang lebih besar dari 25,000 [R. Horonjeff dan F.X. McKelvey, 1994], FAA memberikan toleransi untuk penambahan ketebalan lapis keras seperti yang dirangkum dalam tabel 3.6. Jika didapat EAD total diantara nilai-nilai yang terdapat pada tabel 3.6, maka persentase penambahan tebal lapis keras didapat dengan cara menginterpolasi dari nilai-nilai tingkat EAD total yang ada.

Tabel 3.6 Koreksi tebal lapis keras untuk tingkat
EAD total > 25,000

Tingkat Total EAD (ΣR_i)	Persentase Ketebalan
50,000	104
110,000	108
150,000	110
200,000	112

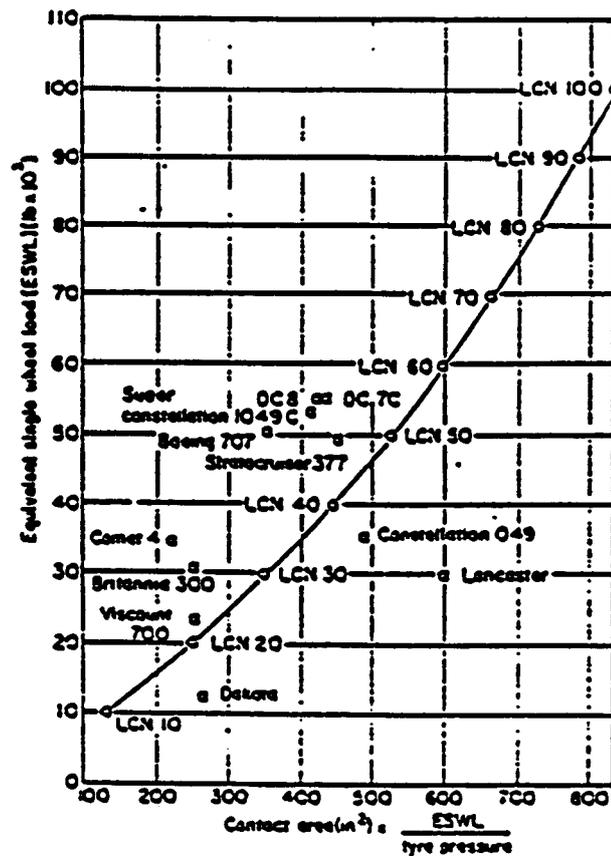
Sumber: R. Horonjeff dan F.X. McKelvey [1994]

3.3 Metode LCN (*Load Classification Number*)

Metode perancangan LCN (*Load Classification Number* = bilangan penggolongan beban) adalah metode perancangan lapis keras dan evaluasi yang pertama kali dikembangkan oleh *Air Ministry Directorate General of Work, The United Kingdom*. Kemudian metode ini diperbaiki oleh *Directorate of Civil Engineering Development of The United Kingdom, Department of The Evaluation of Aircraft Pavement*, dalam buletin *Design and Evaluation of Aircraft Pavement*, 1971.[Heru Basuki, 1985]

Dalam perancangan lapis keras dengan metode LCN, setiap pesawat dinyatakan dengan nilai LCN. Nilai LCN pesawat tergantung kepada konfigurasi roda pendaratan utama, tekanan roda pesawat, komposisi dan tebal lapis keras. Dengan demikian, bila nilai LCN lapis keras bandar udara lebih besar daripada nilai LCN pesawat, pesawat tersebut dapat mendarat, dan tinggal landas dengan aman.

Pada gambar 3.5 berikut ini, dapat dilihat kurva penggolongan beban standar.



Gambar 3.5 Kurva penggolongan beban standar

Sumber: M. Sargious [1975]

Kurva penggolongan beban standar pada gambar 3.5 diatas, dibuat untuk mendapatkan nilai LCN, dengan kapasitas lapis keras dapat dinyatakan sebagai bilangan tunggal. Kurva ini dibuat dengan menggambarkan titik-titik yang merupakan nilai tipikal dari urutan beban roda, dan bidang kontak dari pesawat pada sistem LCN, berdasarkan tabel 3.7 berikut ini.

Tabel 3.7 Hubungan antara beban roda tunggal, tekanan roda dan nilai LCN.

Beban Roda		Tekanan Roda		Nilai LCN
lbs.	Kg.	psi	kg/cm ²	
100,000	45,400	120	8.44	100
90,000	40,800	115	8.09	90
80,000	36,300	110	7.74	80
70,000	31,800	105	7.38	70
60,000	27,200	100	7.03	60
50,000	22,700	95	6.68	50
40,000	18,100	90	6.33	40
30,000	13,600	85	5.98	30
20,000	9,100	80	5.62	20
10,000	4,500	75	5.27	10

Sumber: M. Sargious [1975]

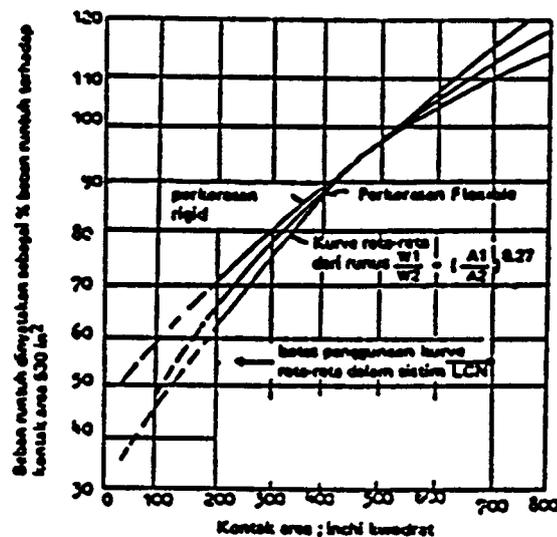
Kurva LCN pada gambar 3.7, dibuat dengan cara menggabungkan kurva penggolongan beban standar pada gambar 3.5 dan kurva hubungan bidang kontak dengan beban kegagalan untuk lapis keras tipikal pada gambar 3.6. Kurva LCN pada gambar 3.7 tersebut [Heru Basuki, 1985], didapat dengan cara sebagai berikut:

1. Garis bidang kontak roda, didapat dari nilai perbandingan beban dengan tekanan roda.

$$\text{Bidang kontak} = \frac{\text{beban}}{\text{tekanan roda}} \quad (3-7)$$

2. Satu beban pada setiap garis LCN langsung berasal dari kurva penggolongan beban standar. Misalkan: beban roda (*wheel load*) sebesar 66.72 KN, dengan tekanan roda 0,534 MN/m², didapat nilai LCN sebesar 15.

3. Titik-titik lain pada setiap garis LCN, dihitung berdasarkan hasil *Bearing Plate Test* pada jenis lapis keras tegar dan lapis keras lentur dengan *contact area* antara 200 - 700 in², yang berasal dari kurva hubungan beban runtuh dengan bidang kontak pada lapis keras tegar dan lapis keras lentur, seperti pada gambar 3.6 berikut ini.



Gambar 3.6 Kurva hubungan bidang kontak-beban kegagalan

Sumber: Heru Basuki [1985]

Secara matematis, hubungan beban runtuh dengan bidang kontak pada lapis keras tegar dan lapis keras lentur, dibuat dengan persamaan berikut.

$$\frac{W_1}{W_2} = \left[\frac{A_1}{A_2} \right]^{0.27} \quad (3-8)$$

Dengan: W_1 = beban runtuh pada lapis keras tegar (lbs),

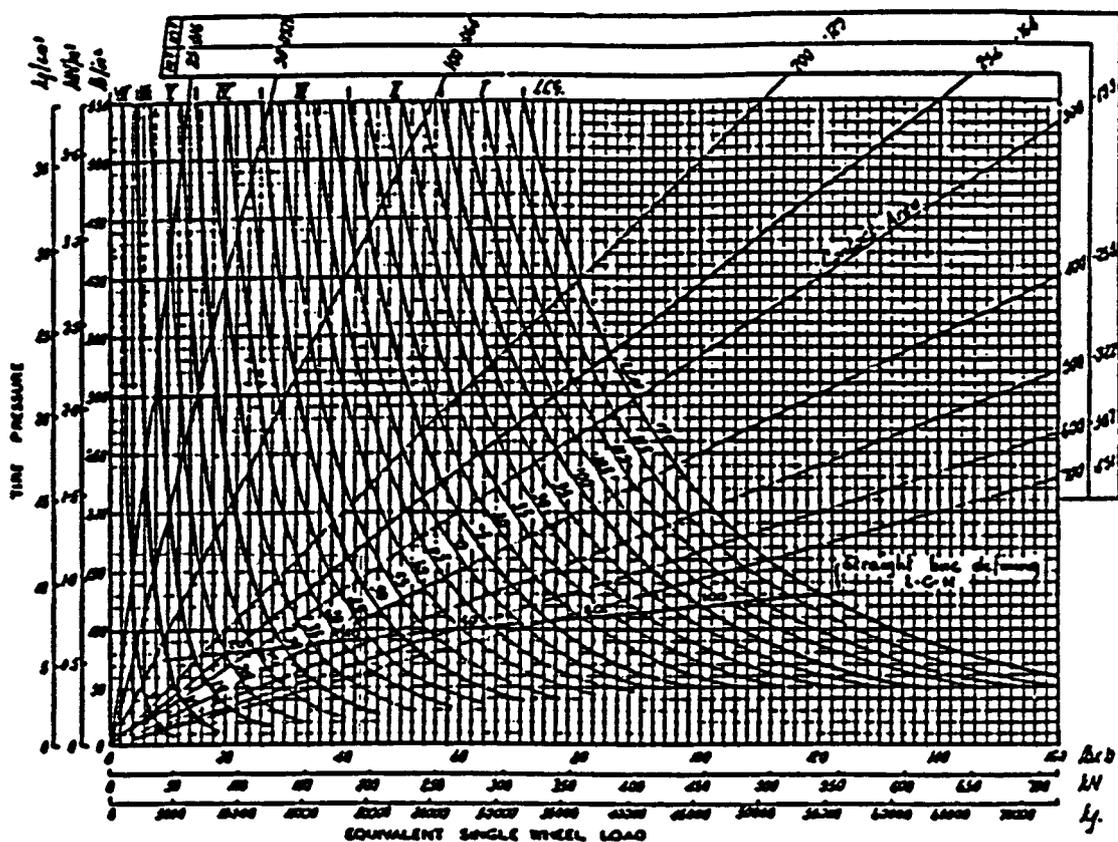
W_2 = beban runtuh pada lapis keras lentur (lbs),

A_1 = luas daerah kontak ban pada lapis keras tegar (in²),

A_2 = luas daerah kontak ban pada lapis keras lentur (in²),

4. Garis titik-titik merupakan penerusan sistem LCN secara coba-coba, untuk menampung bidang kontak yang lebih kecil dari 200 inci² berdasarkan pengujian beban pada lapis keras dengan bidang kontak yang kecil.

Nilai LCN dinyatakan dengan ESWL, tekanan roda, dan bidang kontak, dapat dilihat pada gambar 3.7 berikut ini.

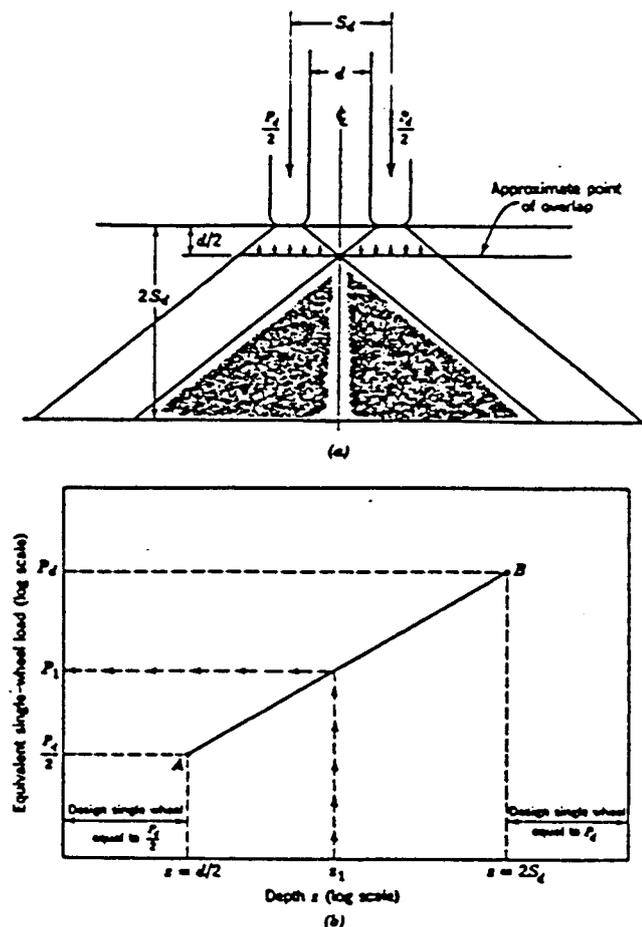


Gambar 3.7 Nilai LCN dinyatakan dengan ESWL, tekanan roda dan bidang kontak

Sumber: M. Sargious [1975]

Nilai LCN pada gambar 3.7, hanya berlaku untuk pesawat dengan beban roda tunggal, sedangkan untuk pesawat dengan beban roda ganda atau lebih, perlu dikonversikan terlebih dahulu kedalam ESWL (*Equivalent Single Wheel Load* = beban roda tunggal ekuivalen). Beban roda tunggal ekuivalen akan mempunyai beban dan tekanan roda yang sama dengan pesawat roda tunggal, sehingga beban ESWL menghasilkan tegangan yang lebih maksimum, jika dibandingkan dengan tegangan akibat roda tunggal itu sendiri.

Analisis ESWL untuk pesawat dengan konfigurasi roda pendaratan utama *dual wheel*, dapat dilihat pada gambar 3.8 berikut ini.



Gambar 3.8 Analisis ESWL untuk pesawat *dual wheel*

a. tekanan roda pada lapis keras b. Analisis ESWL untuk pesawat *dual wheel*

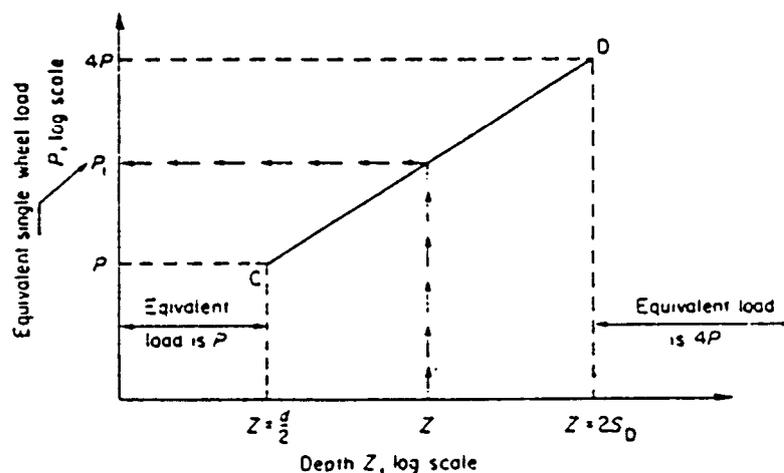
Sumber: E.J. Yoder dan M.W. Witczak [1975]



Analisis ESWL pada gambar 3.8, dilakukan dengan cara sebagai berikut:

- Titik A ($\frac{P_d}{2}, d/2$) adalah tekanan akibat beban roda tunggal ($\frac{P_d}{2}$) terjadi sampai pada kedalaman $d/2$ (d = jarak tepi dalam kedua roda).
- Titik B ($P_d, 2S_d$) adalah tekanan akibat beban roda ganda (P_d) terjadi sampai pada kedalaman $2S_d$ (S_d = jarak roda dari sumbu ke sumbu).
- Garis AB, adalah beban tunggal yang bekerja dinyatakan dalam ekuivalen. Diasumsikan bahwa beban tunggal ekuivalen bekerja pada kedalaman Z_1 (antara $d/2$ sampai $2S_d$). Dengan menarik garis dari titik Z_1 (kedalaman) kemudian diplotkan kedalam titik beban, maka didapatkan beban ekuivalen tunggal (P_1).

Untuk pesawat dengan konfigurasi roda pendaratan utama *dual tandem*, analisis ESWL dilakukan seperti dalam gambar 3.9 berikut ini.



Gambar 3.9 Analisis ESWL untuk pesawat *dual tandem*

Sumber: M. Sargious [1975]

Analisis ESWL pada gambar 3.9, dilakukan dengan cara sebagai berikut:

- Titik C ($P, d/2$) adalah tekanan akibat beban roda tunggal (P) terjadi sampai pada kedalaman $d/2$ (d = jarak tepi dalam kedua roda).
- Titik D ($4P, 2S_d$) adalah tekanan akibat beban roda ganda (P_d) terjadi sampai pada kedalaman $2S_d$ (S_d = jarak roda dari sumbu ke sumbu).
- Garis AB, adalah beban tunggal yang bekerja dinyatakan dalam ekuivalen. Diasumsikan bahwa beban tunggal ekuivalen bekerja pada kedalaman Z (antara $d/2$ sampai $2S_d$). Dengan menarik garis dari titik Z (kedalaman) kemudian diplotkan kedalam titik beban, maka didapatkan beban ekuivalen tunggal (P_1).

BAB IV

DATA PERANCANGAN

4.1 Kapasitas Lalulintas Udara

Bandar udara Adisutjipto Yogyakarta merupakan bandar udara domestik, dengan landas pacu tunggal yang melayani kedatangan dan keberangkatan pesawat. Pada analisis perancangan lapis keras landas pacu, kapasitas lalulintas udara digunakan untuk menentukan kemampuan pengolahan suatu fasilitas pelayanan selama jangka waktu tertentu. Untuk mengetahui kapasitas maksimum dari suatu fasilitas pelayanan, harus terdapat permintaan yang berkesinambungan terhadap pelayanan itu.

Dari data lalulintas udara yang ada di PT (persero) Angkasa Pura I bandar udara Adisutjipto Yogyakarta, diperoleh data lalulintas udara tahun 1990-1995 seperti dalam tabel 4.1 berikut ini.

Tabel 4.1 Data lalulintas udara tahun 1990-1995

No	Tahun	Pesawat		Penumpang		
		Kedatangan	Keberangkatan	Kedatangan	Keberangkatan	<i>Transit</i>
1	1990	2,443	2,442	276,864	291,491	4,555
2	1991	4,982	4,973	297,108	322,891	12,026
3	1992	6,286	6,363	370,238	378,782	34,191
4	1993	7,164	7,172	487,602	499,461	43,280
5	1994	8,877	8,844	583,348	584,169	45,351
6	1995	10,038	10,056	565,537	570,503	46,039
Jumlah		39,790	39,850	2,580,697	2,647,297	185,442

Sumber: PT (persero) Angkasa Pura I bandar udara Adisutjipto Yogyakarta [1995]

Prakiraan lalu lintas udara pada masa yang akan datang dilakukan dengan cara menganalisis data lalu lintas udara pada masa-masa yang lalu, kemudian diproyeksikan ke masa yang akan datang. Analisis data historis yang digunakan adalah analisis *trend* pergerakan pesawat (lihat lampiran 2). Analisis *trend* pergerakan pesawat untuk tahun 1990-1995, dapat dilihat dalam tabel 4.2 berikut ini.

Tabel 4.2 Analisis *trend* pergerakan pesawat tahun 1990-1995

No	Tahun	Pesawat (Y)	X	X ²	Y ²	X . Y
1	1990	4,885	- 5	25	23,863,225	-24,425
2	1991	9,955	- 3	9	99,102,025	-29,865
3	1992	12,649	- 1	1	159,997,201	-12,649
4	1993	14,336	1	1	205,520,896	14,336
5	1994	17,721	3	9	314,033,841	53,163
6	1995	20,094	5	25	403,768,836	100,470
Jumlah		79,640	0	70	1,206,286,024	101,030

Dari tabel 4.2, analisis *trend* pergerakan pesawat dilakukan dengan menggunakan persamaan (2-1) berikut ini.

$$y = a + bx$$

$$\text{dengan: } a = \frac{\sum Y}{n} = \frac{79,640}{6} = 13,273.3333$$

$$b = \frac{\sum(X.Y)}{\sum(X^2)} = \frac{101,030}{70} = 1,443.2857$$

Persamaan garis *trend* pergerakan pesawat, menjadi:

$$y = 13,273.3333 + 1,443.2857x$$

Perhitungan koefisien korelasi, didapat dengan menggunakan persamaan (2-2) berikut ini.

$$r = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{[n \sum X^2 - (\sum X)^2] \cdot [n \sum Y^2 - (\sum Y)^2]}}$$

$$r = \frac{6 (101,030) - (0) (79,640)}{\sqrt{[(6) (70) - (0)^2] \cdot [(6) (1,206,286,024) - (79,640)^2]}}$$

$$r = \frac{606,180}{613,170.7336} = 0.9885990423$$

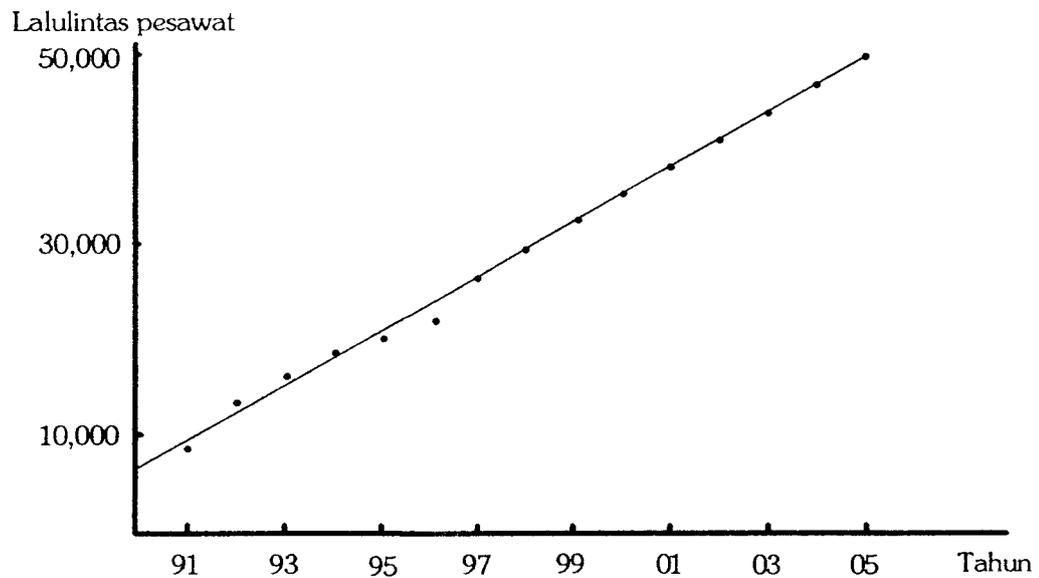
Perhitungan uji waktu, didapat dengan menggunakan persamaan (2-3) berikut ini.

$$t_0 = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}$$

$$t_0 = \frac{0,9885990423 \sqrt{(6-2)}}{\sqrt{[1 - (0.9885990423)^2]}}$$

$$t_0 = \frac{1,977198085}{0.1505720213} = 13.13124489$$

Persamaan *trend* pergerakan pesawat: $y = 13,273.3333 + 1,443.2857x$, dengan koefisien korelasi $(r) = 0.988590423$, dibuat diagram pencar (*scatter plot*) seperti dalam gambar 4.1 berikut ini.



Gambar 4.1 Grafik prakiraan lalulintas udara bandar udara Adisutjipto Yogyakarta

Dari gambar 4.1 didapat prakiraan lalulintas udara bandar udara Adisutjipto Yogyakarta mulai tahun 1995-2005, yang dirangkum dalam tabel 4.3 berikut ini.

Tabel 4.3 Prakiraan lalulintas udara

No	Tahun	Pergerakan Pesawat
1	1995	20,490
2	1996	23,377
3	1997	26,263
4	1998	29,150
5	1999	32,036
6	2000	34,923
7	2001	37,810
8	2002	40,696
9	2003	43,583
10	2004	46,469
11	2005	49,356
Jumlah		384,153

Kategori pesawat campuran yang dipertimbangkan untuk perancangan lapis keras dikelompokkan menurut kapasitas rata-rata penumpang yang dapat diangkut, seperti dalam tabel 4.4 berikut ini.

Tabel 4.4 Kategori pesawat campuran berdasarkan kapasitas rata-rata penumpang yang dapat diangkut

No.	Kapasitas	Tipe Pesawat Terbang
1	M 150	B-737-300
2	M 100	DC-9-32 , B-737-200, F-100,
3	M 75	F-28-4000 , ATP, F-70
4	M 50	F-27-500 , CN-235, HS-748

Sumber: PT (persero) Angkasa Pura I bandar udara Adisutjipto Yogyakarta [1995]

Dari data pada tabel 4.3 dan data lalulintas pesawat di bandar udara Adisutjipto Yogyakarta, didapat prakiraan pergerakan menurut jenis pesawat yang akan beroperasi pada bandar udara tersebut, yang dirangkum dalam tabel 4.5 berikut ini.

Tabel 4.5 Prakiraan pergerakan pesawat menurut kapasitas rata-rata penumpang yang dapat diangkut

Jenis Pesawat Tebang	Persentase Pergerakan	Pergerakan Tahun 1995	Pergerakan Tahun 2000	Pergerakan Tahun 2005
M 150	57	11,679	19,906	28,133
M 100	25	5,123	8,731	12,339
M 75	8	1,639	2,794	3,948
M 50	10	2,049	3,492	4,936
Total	100	20,490	34,923	49,356

4.2 Karakteristik Pesawat Terbang

Untuk keperluan perancangan, dipilih pesawat terbesar dari setiap kelompok pesawat campuran. Data karakteristik pesawat yang berpengaruh pada perancangan lapis keras, dirangkum dalam tabel 4.6 berikut ini.

Tabel 4.6 Karakteristik pesawat untuk perancangan lapis keras

Pesawat		MTOW (lbs)	Landing Gear			
Kapasitas	Tipe		Tipe	T. Roda (psl)	% NG	% MG
M 150	B-737-300	124,500	<i>Dual wheel</i>	166	7.4	46.3
M 100	DC-9-32	121,000	<i>Dual wheel</i>	152	7.6	46.2
M 75	F-28-4000	73,000	<i>Dual wheel</i>	98	8.0	46.0
M 50	F-27-500	45,000	<i>Dual wheel</i>	77	5.0	47.5

Keterangan : NG = *nose gear* dan MG = *main gear*

Sumber: PT (persero) Angkasa Pura I bandar udara Adisutjipto Yogyakarta [1995]

4.3 Kondisi dan Daya Dukung Tanah Dasar

Dari hasil penelitian tanah dasar di lokasi landas pacu dan sekitarnya (tes CBR lapangan), tanah dasar berupa campuran antara pasir vulkanis dengan pasir lanau (*silty sand*), atau dengan pasir berkerikil (*sandy silt*) dengan plastisitas tinggi dan kompresibilitas tinggi yang tertutup lapisan tanah keras.

Hasil pengujian pemadatan sampel tanah setempat (tes CBR laboratorium), menunjukkan bahwa nilai CBR pada kepadatan 95 % MPOD dan direndam dalam air selama 4 hari didapat hasil rata-rata kadar air optimum sebesar 15 %, dengan kepadatan tanah kering maksimum 1.8 gram/cm³.

Persyaratan kepadatan di bawah tanah dasar, harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

1. Pada kedalaman 0-15 cm, 95 % dari kepadatan maksimum (*maksimum density*) pada OMC.
2. Pada kedalaman 15-30 cm, 95 % dari kepadatan maksimum (*maksimum density*) pada OMC.
3. Pada kedalaman 30-50 cm, 85 % dari kepadatan maksimum (*maksimum density*) pada OMC.
4. Pada kedalaman 50-65 cm, 80 % dari kepadatan maksimum (*maksimum density*) pada OMC.

Untuk perancangan lapis keras lentur landas pacu bandar udara Adisutjipto Yogyakarta, pada tanah dasar dilakukan perbaikan dengan cara pemadatan tanah dasar setempat, sehingga diperoleh nilai CBR 6 % dan memenuhi persyaratan ASTM D-154-66 & D-1883-73 (*Soaked CBR, Field CBR*). Selanjutnya untuk keperluan perancangan, pada tanah dasar digunakan parameter nilai CBR minimum 6 %.

4.4 Bahan Lapis Keras Lentur

Bahan lapis keras yang digunakan, sesuai dengan ketentuan yang dikeluarkan oleh Direktorat Teknik Bandar Udara, dan digunakan sebagai acuan dalam pelaksanaan pekerjaan struktur landas pacu bandar udara Adisutjipto Yogyakarta.

Penggunaan bahan lapis keras, dimaksudkan untuk memberikan permukaan yang halus, aman dan tahan terhadap segala cuaca, serta tebal dari setiap lapisan harus cukup untuk menjamin bahwa beban lalu lintas yang bekerja tidak merusak lapisan dibawahnya. Bahan lapis keras yang digunakan [Rencana dan Syarat-Syarat, 1995], terdiri dari:

1. Bahan lapis permukaan.
2. Bahan lapis pondasi atas.
3. Bahan lapis pondasi bawah.

4.4.1 Bahan Lapis Permukaan

Bahan lapis permukaan yang digunakan dalam perancangan, [Rencana Kerja dan Syarat-Syarat, 1995] terdiri dari:

1. Aspal penetrasi untuk *binder course*.
2. Aspal beton untuk *binder course* dan *wearing course*.

1. Aspal Penetrasi Untuk *Binder Course*

Bahan aspal yang digunakan, adalah aspal AC 60/70 sesuai dengan spesifikasi ASTM D-946-82. Agregat yang digunakan terdiri dari batu pecah (*course, fine aggregate, filler*), krikil dan pasir. Agregat tersebut harus keras, tahan lama (tidak rapuh/tidak porous), bersegi-segi (*angular*), tidak mengandung kotoran, dan tahan ausan maksimum 45 % pada 500 putaran AASTHO, *Los Angeles Abrasion Test*.

Persyaratan gradasi limit agregat aspal penetrasi untuk *binder course*, dapat dilihat dalam tabel 4.7 berikut ini.

Tabel 4.7 Gradasi limit agregat aspal penetrasi untuk *binder course*

Saringan ASTM	% Berat Lolos Saringan		
	1,5"	1"	3/4"
1.05"	100	100	100
1"	-	100	100
3/4"	80-100	82-100	100
1/2"	-	70-90	75-95
3/8"	55-80	60-82	60-62
No. 4	40-60	42-70	42-70
No. 8	30-50	-	-
No. 10	-	30-60	30-60
No. 40	15-30	15-40	15-40
No. 80	-	8-26	8-26
No. 200	0-10	3-8	3-8

Sumber: Rencana Kerja dan Syarat-Syarat [1995]

2. Aspal Beton Untuk *Binder Course* dan *Wearing Course*

Bahan aspal yang digunakan untuk aspal semen, adalah aspal dengan penetrasi AC 60/70, spesifikasi ASTM D-946-82, dan suhu standar campuran antara 145 °C - 160 °C. Agregat halus yang digunakan terdiri dari batu pecah hasil dari *screening*, pasir, dan bahan lain yang mempunyai sifat dan kualitas yang sama. Pencampuran aspal dan agregat halus yang dilakukan, harus memenuhi persyaratan spesifikasi batas toleransi hasil gradasi agregat, seperti dalam tabel 4.8 berikut ini.

Tabel 4.8 Spesifikasi batas toleransi hasil gradasi agregat

No.	Toleransi Job Mix	Plus or Minus
1	Agregat lolos saringan No. 8	4 %
2	Agregat lolos saringan No. 4	7 %
3	Agregat lolos saringan No. 100 dan 200	2 %
4	Aspal semen	0.4 %
5	Temperatur campuran	14° C

Sumber: Rencana Kerja dan Syarat-Syarat. [1995]

Course agregat harus terdiri dari bahan yang bersifat tahan aus, keras, bebas dari lapisan yang melekat, sesuai dengan persyaratan ASTM D-692-79 & ASTM D-693-77, dan mempunyai keausan maksimum sebesar 25 % bila ditest berdasarkan *Los Angeles Abrasion Test*.

Untuk *wearing course* yang direncanakan menerima langsung pesawat, maka semua *course* agregat pada batu pecah harus memenuhi persyaratan tertinggal pada saringan No. 8 minimum 60 % dari total berat batu pecah dengan tiga atau lebih muka bidang pecah. Selain itu, batu pecah tersebut harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

- = batu pecah tidak boleh menunjukkan akan pecah / *disintegrasi*,
- = jika dilakukan percobaan lima kali dengan bahan *sodium sulphate soundness test*, jumlah kehilangan < 9% untuk *surface course*, dan untuk *binder course* < 12 %,
 - = jika dilakukan percobaan dengan bahan *magnesium soundness test* pada material *surface*, jumlah kehilangan < 12 %.

Persyaratan gradasi agregat untuk aspal semen, dapat dilihat dalam tabel 4.9 berikut ini.

Tabel 4.9 Gradasi agregat untuk aspal semen

Saringan ASTM	% Berat lolos saringan	
	<i>Binder Course</i> 1" Max.	<i>Wearing Course</i> 3/4" Max.
1"	100	100
3/4"	80-100	100
1/2"	70-90	75-95
3/8"	60-82	60-82
No. 4	42-70	42-70
No. 10	30-60	30-60
No. 40	15-40	15-40
No. 80	8-26	8-26
No. 200	3-8	3-8

Sumber: Rencana Kerja dan Syarat-Syarat [1995]

Bahan tambahan berupa *filler*, terdiri dari debu batu pecah, semen *portland* atau bahan lain yang memenuhi persyaratan ASTM D-242, sedangkan untuk kadar bitumen pada campuran aspal semen, diperhitungkan dari berat campuran secara keseluruhan. Persyaratan gradasi kadar bitumen, dirangkum dalam tabel 4.10 berikut ini.

Tabel 4.10 Gradasi kadar bitumen

No	Bitumen	% Bitumen	
		<i>Binder Course</i>	<i>Wearing Course</i>
1	<i>Stone of gravel</i>	4.5-7.0	5.5- 8.0
2	<i>Slag</i>	6.0-9.0	7.0-10.0

Sumber: Rencana Kerja dan Syarat-Syarat [1995]

Semua bahan lapis permukaan yang digunakan, diproduksi oleh AMP (*Asphalt Mixing Plant*) dengan menggunakan metode *Marshall*. Maksud dilakukannya *Marshall test*, adalah untuk mengetahui ketahanan (stabilitas) terhadap kelelahan plastis (*flow*) dari campuran aspal. Desain *hotmix* untuk *surface course* yang dilakukan di laboratorium, harus memenuhi ketentuan batas toleransi metode *Marshall*, seperti dalam tabel 4.11 berikut ini.

Tabel 4.11 Batas toleransi *Marshall test*

No	Test Property	Airport Surface Course	Pavement Base Courses
1	Number of blows	75	75
2	Stability (min)	2200 lbs	1800 lbs
3	Flow	2 MM-4 MM	2 MM-4 MM
4	Voids total Mix	3 %-4 %	3 %-5 %
5	Voids Fillet with bitumen	76 %-82 %	76 %-82 %

Sumber: Rencana Kerja dan Syarat-Syarat [1995]

Setelah melewati hasil *Marshall test* dengan *trial area* yang memuaskan, *design mixture* tersebut ditetapkan sebagai *plant mixture* dan *job mix*, yang kemudian menjadi *approved mixture*. Batas toleransi yang diijinkan untuk *plant mixture* dan *job mix* adalah sebagai berikut:

- Toleransi material : *Job mix formula* sesuai syarat campuran menurut klasifikasi.
- *Mixture* : ± 1 % dari *job mix formula*.
- Bitumen : ± 5 % dari *job mix formula*.
- Stabilitas : < 2200 lbs (*Airport pavement*).

- Temperatur material: Aspal semen antara 149 °C - 177 °C,
Agregat antara 160 °C - 175 °C,
Suhu agregat tidak boleh lebih dari 14 °C diatas suhu aspal semen.
- Temperatur campuran 135 °C - 173 °C
- Temperatur penggilasan dibawah 122 °C
- Kepadatan ditentukan berdasarkan:
 - i. prosentase *density absolute* 100 %,
 - ii. jumlah persentase agregat terhadap berat agregat dan bitumen terhadap berat bitumen,
 - iii. spesifikasi gradasi agregat dan bitumen.

Marshall test dilakukan dengan cara membuat sampel sebanyak 20 buah, kemudian dipadatkan dengan kepadatan tidak boleh kurang dari 99 % kepadatan *job mix* atau 95 % *field absolute*. Nilai rata-rata dari kepadatan tersebut diambil sebagai *field density*, dan tidak boleh kurang dari 98 % kepadatan *job mix* atau 94 % dari *field absolute*.

4.4.2 Bahan Lapis Pondasi Atas

Agregat untuk lapis pondasi atas terdiri dari kerikil, batu pecah (*fine aggregate crushed* hasil *screening*) yang diperoleh dari pemecahan batu gunung/batu kali (minimum pecah tiga sisi). Batuan ini harus bebas dari bahan yang tidak diinginkan (gepeng, panjang, mudah hancur, dan kotor).

Persyaratan gradasi batuan pecah untuk lapis pondasi bawah, dirangkum dalam tabel 4.12 berikut ini.

Tabel 4.12 Gradasi batuan pecah untuk *base course/ crushed stone*

Saringan ASTM	% Berat Lolos Saringan		
	3"	1,5"	3/4"
3"	100	100	100
1.5"	80-100	100	100
3/4"	60-100	80-100	100
3/8"	45-60	55-80	80-100
No. 4	30-50	40-60	50-75
No. 8	20-40	30-50	35-60
No. 40	10-30	15-30	15-35
No. 200	0-10	0-10	0-10

Sumber: Rencana Kerja dan Syarat-Syarat [1995]

Kepadatan *base course* yang ditetapkan melalui tes CBR, harus memenuhi persyaratan nilai CBR minimum 80 %.

4.4.3 Bahan Lapis Pondasi Bawah

Bahan untuk lapis pondasi bawah, adalah butiran batuan kering yang telah diuji di laboratorium dengan gradasi limit, seperti dalam tabel 4.13 dan 4.14 berikut ini.

Tabel 4.13 Gradasi limit batuan *granular* untuk *subbase/ granular course*

Saringan ASTM	% Berat Lolos Saringan		
	3"	1.5"	3/4"
3"	100	100	100
1.5"	80-100	100	100
3/4"	60-100	80-100	100
3/8"	45-65	55-80	80-100
No. 4	30-50	40-60	50-75
No.8	30-50	30-50	35-60
No. 40	10-30	15-30	15-35
No. 200	0-10	0-10	0-10

Sumber: Rencana Kerja dan Syarat-Syarat [1995]

Tabel 4.14 Gradasi limit untuk *subbase/compacted sand*

Saringan ASTM	Berat Kering Lolos Saringan
3/8"	+ 100 %
No. 10	+ 97 %
No. 40	+ 69 %
No. 200	+ 4 %

Sumber: Rencana Kerja dan Syarat-Syarat [1995]

Klasifikasi dan gradasi dalam tabel 4.13 dan 4.14, menggambarkan batas-batas agregat yang dapat diambil dari sumber pengadaan. Hasil akhir dari penggabungan gradasi limit tersebut harus masuk dalam batas limit, sehingga penggabungan gradasi tersebut mempunyai susunan *uniform* dari *course* agregat sampai *fine* agregat yang lewat pada saringan No. 40.

Semua agregat yang digunakan untuk *base/granular base*, termasuk fraksi agregat yang lewat pada saringan No. 40, harus mempunyai *liquid limit* maksimum 25 %, dan *plasticity index*nya maksimum 60 % apabila ditest dengan persyaratan ASTM D-423 dan D-424, serta *sand equitment* + 95 %. Kepadatan *subbase course* yang ditetapkan melalui tes CBR (*Soaked and field CBR*), harus mempunyai nilai CBR minimum 25 %.

4.5 Data Landas Pacu

Dari Kantor Wilayah XII Departemen Perhubungan DIY, diperoleh data lapis keras landas pacu bandar udara Adisutjipto Yogyakarta, sebagai berikut:

1. Lapis permukaan (*surface course*), untuk *binder course* digunakan aspal penetrasi setebal 5 cm., dan aspal beton setebal 5 cm., sedangkan untuk *wearing course* digunakan aspal beton setebal 7.5 cm.
2. Lapis pondasi atas (*base course*), digunakan bahan batu pecah (*crushed stone*) dengan nilai CBR 80 %, setebal 30 cm.
3. Lapis pondasi bawah (*subbase course*), digunakan batu *granular* dengan nilai CBR 25 %, setebal 45 cm.
4. Nilai CBR *subgrade* 6 %.

BAB V

ANALISIS PERANCANGAN

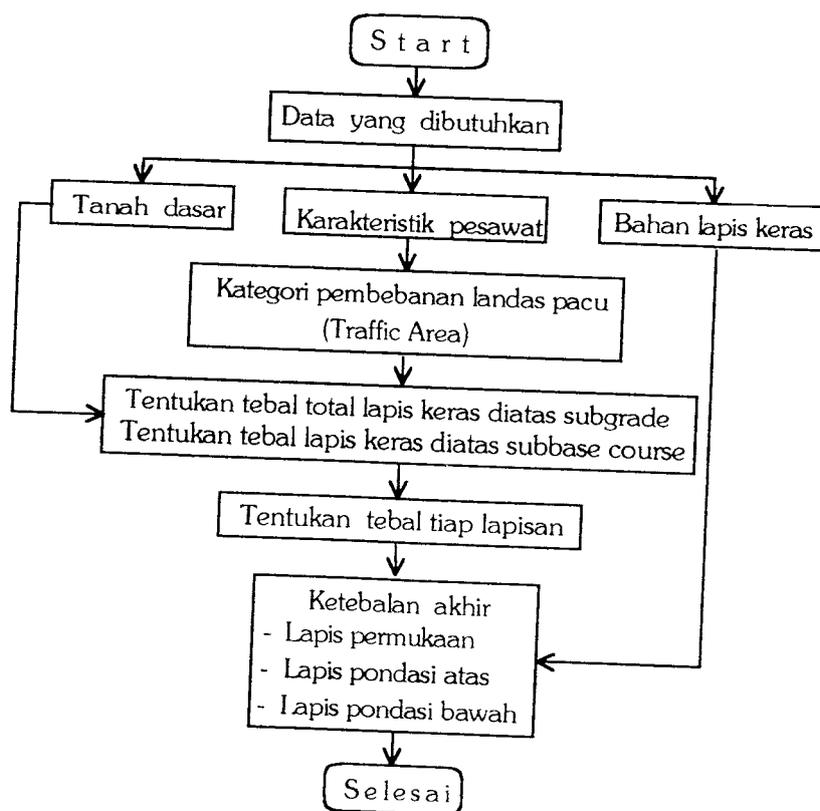
DAN

PEMBAHASAN

5.1 Analisis Perancangan

5.1.1 Metode CBR

Dalam merancang lapis keras landas pacu dengan metode CBR, langkah-langkahnya dapat mengikuti bagan alir pada gambar 5.1 berikut ini.



Gambar 5.1 Bagan alir analisis tebal lapis keras landas pacu metode CBR

1. Menentukan Kategori Pembebanan Landas Pacu

Dari data perancangan didapat pergerakan dan karakteristik pesawat untuk perancangan lapis keras, seperti dalam tabel 5.1 berikut ini.

Tabel 5.1 Pergerakan dan karakteristik pesawat menurut jenis pesawat

No	Jenis Pesawat	Pergerakan Tahun 2005	MTOW (lbs)	Tipe Roda	Tekanan Roda (psi)	Distribusi Main Gear (%)
1	B-737-300	28,133	124,500	Dual wheel	166	46.3
2	DC-9-32	12,339	121,000	Dual wheel	152	46.2
3	F-28-4000	3,948	73,000	Dual wheel	98	46.0
4	F-27-500	4,936	45,000	Dual wheel	77	47.5

Pada tabel 5.1 terlihat bahwa pesawat terbesar mempunyai konfigurasi roda pendaratan utama *dual wheel*, maka landas pacu dapat dikategorikan untuk melayani pembebanan *medium*. Dengan melihat gambar 3.1, maka didapat landas pacu merupakan *traffic area* tipe B.

2. Menentukan Tebal Lapis Keras

Dengan memasukkan nilai CBR *subgrade* 6 % kedalam gambar 3.3, maka didapat tebal lapis keras diatas *subgrade* sebesar:

$$H_t = 40 \text{ in.}$$

$$= 40 \times 2.54 = 101.6 \text{ cm.} \sim 102 \text{ cm.}$$

Dengan memasukkan nilai CBR *subbase course* 25 % kedalam gambar 3.3, maka didapat tebal lapis keras diatas *subbase course* sebesar:

$$H_1 + H_2 = 15.5 \text{ in.}$$

$$= 15.5 \times 2.54 = 39.37 \text{ cm.} \sim 39.5 \text{ cm.}$$

Setelah tebal di atas *subbase course* didapat, maka tebal *subbase course* didapat sebesar:

$$\begin{aligned} H_3 &= H_t - (H_1 + H_2) \\ &= 102 - 39.5 = 62.5 \text{ cm.} \end{aligned}$$

Dengan melihat tabel 3.3 untuk nilai CBR *base course* rencana 80 %, maka didapat tebal *surface course* minimum sebesar:

$$\begin{aligned} H_1 &= 4 \text{ in.} \\ &= 4 \times 2.54 = 10.16 \text{ cm.} \sim 10.5 \text{ cm.} \end{aligned}$$

maka didapat tebal *base course* sebesar:

$$\begin{aligned} H_1 + H_2 &= 39.5 \text{ cm.} \\ H_2 &= 39.5 - 10.5 = 29 \text{ cm.} \end{aligned}$$

Kontrol tebal *base course* minimum, didapat sebesar:

$$\begin{aligned} H_2 &= 6 \text{ in.} \\ &= 6 \times 2.54 = 15.24 \text{ cm.} \sim 15.5 \text{ cm.} < 29 \text{ cm.} \end{aligned}$$

Dipakai tebal *base course* = 29 cm.

3. Hasil Akhir Tebal Lapis Keras Metode CBR

Hasil akhir tebal lapis keras lentur landas pacu metode CBR, dapat dilihat dalam tabel 5.2 berikut ini.

Tabel 5.2 Hasil akhir tebal lapis keras lentur metode CBR

No	Material	Tebal Akhir (cm)
1	Surface course Asphalt Penetration / Concrete	10.5
2	Base course Crushed Base Stone	29.0
3	Subbase course Granular / Crushed Stone	62.5
Tebal Total		102

4. Analisis Terhadap Tebal Lapis Keras Landas Pacu yang Ada

Dari hasil perancangan lapis keras pada tabel 5.2, dilakukan analisis terhadap tebal lapis keras landas pacu yang ada. Hasil analisis perbandingan, dirangkum dalam tabel 5.3 berikut ini.

Tabel 5.3 Perbandingan tebal lapis keras landas pacu

No	Struktur Lapis Keras Landas Pacu	Tebal Landas Pacu yang Ada (cm)	Tebal Landas Pacu Hasil Analisis (cm)	Hasil Konversi Analisis (cm)
1	Surface Course	17.5	10.5	17.5
2	Base Course	30.0	29.0	30.0
3	Subbase Course	45.0	62.5	45.0
Total Tebal		92.5	102	92.5

Analisis perbandingan lapis keras lentur landas pacu pada tabel 5.3, dilakukan dengan cara sebagai berikut:

- Tebal *subbase course* yang dibutuhkan = 62.5 cm.
- Tebal *subbase course* yang ada = 45 cm.

Berarti terdapat kelebihan tebal *subbase course* yang dibutuhkan sebesar:

$$d_1 = 62.5 - 45 = 17.5 \text{ cm.}$$

Dianggap kelebihan tebal *subbase course* ini menjadi tebal *base course* yang dibutuhkan. Pada tabel 2.2, didapat faktor ekuivalen untuk *base course* batu pecah sebesar 1.4 - 2.0. Dengan mengambil harga rata-rata sebesar 1.7, maka tebal *base course* pengganti *subbase course* yang dibutuhkan sebesar:

$$t_1 = \frac{17.5}{1.7} = 10.29 \text{ cm.} \sim 10.5 \text{ cm.}$$

- Tebal *base course* yang dibutuhkan menjadi = $29 + 10.5 = 39.5 \text{ cm.}$
- Tebal *base course* yang ada = 30 cm.

Berarti terdapat kelebihan tebal *base course* yang dibutuhkan sebesar:

$$d_2 = 39.5 - 30 = 9.5 \text{ cm.}$$

Dianggap kelebihan tebal *base course* ini menjadi tebal *surface course* yang dibutuhkan. Pada tabel 2.1, didapat faktor ekuivalen untuk *surface course* berbitumen sebesar 1.2 - 1.6. Dengan mengambil harga rata-rata sebesar 1.4, maka tebal *surface course* pengganti *base course* yang dibutuhkan sebesar:

$$t_2 = \frac{9.5}{1.4} = 6.78 \text{ cm.} \sim 7 \text{ cm.}$$

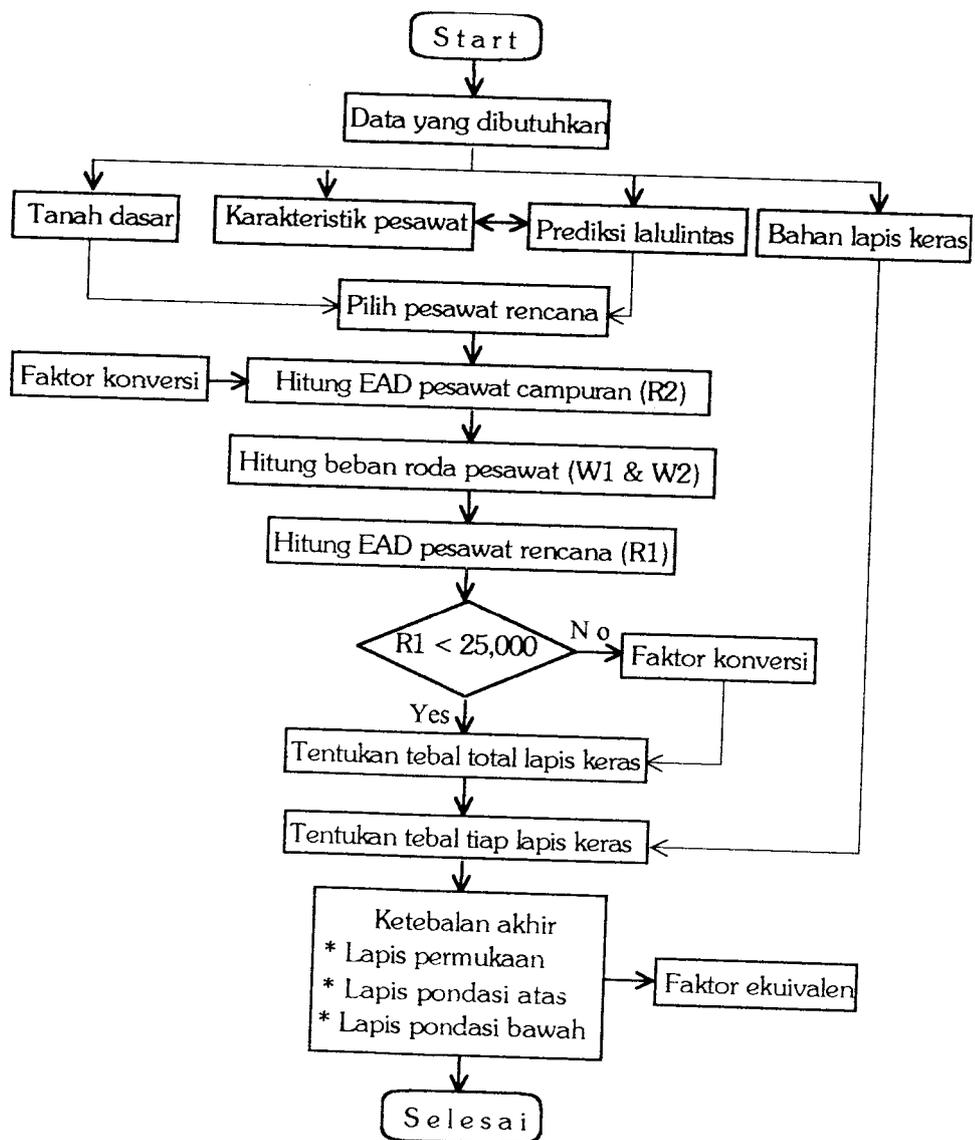
- Tebal *surface course* yang dibutuhkan menjadi = $10.5 + 7 = 17.5 \text{ cm.}$
- Tebal *surface course* yang ada = 17.5 cm.

Berarti tebal *surface course* yang dibutuhkan sama dengan tebal *surface course* yang ada pada landas pacu.

Dari hasil analisis metode CBR, ternyata landas pacu bandar udara Adisutjipto Yogyakarta masih mampu untuk menampung lalulintas sampai dengan tahun 2005.

5.1.2 Metode FAA

Perancangan lapis keras landas pacu dengan metode FAA, dilakukan dengan langkah-langkah seperti bagan alir pada gambar 5.2 berikut ini.



Gambar 5.2 Bagan alir analisis tebal lapis keras landas pacu metode FAA

Sumber: Agus T.M. [1994]

1. Menentukan Pesawat Rencana

Pesawat rencana dipilih dari pesawat terbesar yang direncanakan akan beroperasi di bandar udara yang menghasilkan total EAD terbesar, sehingga didapat ketebalan lapis keras terbesar. Pada tabel 5.4, terlihat bahwa pesawat B-737-300 merupakan pesawat terbesar, maka pesawat rencana dipilih B-737-300.

Tabel 5.4 Pemilihan pesawat rencana

No	Jenis Pesawat	Pergerakan Tahun 2005	Pergerakan Nyata	MTOW (lbs)	Tipe Roda
1	B-737-300	28,133	14,067	124,500	Dual wheel
2	DC-9-32	12,339	6,170	121,000	Dual wheel
3	F-28-4000	3,948	1,974	73,000	Dual wheel
4	F-27-500	4,936	2,474	45,000	Dual wheel

Keterangan: Pergerakan nyata = $0.5 \times$ Pergerakan tahun 2005

2. Menentukan EAD Pesawat Campuran (R_2)

Setiap tipe roda pendaratan utama untuk pesawat campuran dikonversikan terlebih dahulu ke tipe roda pendaratan utama pesawat rencana, dengan cara mengikuti tabel 3.5. Hasil konversi ke tipe roda pendaratan utama pesawat rencana, dapat dilihat dalam tabel 5.5 berikut ini.

Tabel 5.5 Konversi ke tipe roda pendaratan utama pesawat rencana

No	Tipe Pesawat	Tipe Roda	Tipe Roda Konversi	Faktor Konversi	Pergerakan Nyata	Pergerakan Konversi (R_2)
1	B-737-300	DW	DW	1.0	14,067	14,067
2	DC-9-32	DW	DW	1.0	6,170	6,170
3	F-28-4000	DW	DW	1.0	1,974	1,974
4	F-27-500	DW	DW	1.0	2,468	2,468

Keterangan: DW = Dual Wheel

3. Menentukan Beban Roda Pesawat W_1 dan W_2

Beban roda pesawat rencana (W_1) dan pesawat campuran (W_2), didapat dengan menggunakan persamaan (3-5) dan (3-6) berikut ini.

$$W_1 = \% \text{ distribusi } main \text{ gear} \times \text{MTOW pesawat rencana} \times \frac{1}{N}$$

$$W_2 = \% \text{ distribusi } main \text{ gear} \times \text{MTOW pesawat campuran} \times \frac{1}{N}$$

dengan: W_1 = beban satu roda pendaratan utama pesawat rencana,

W_2 = beban satu roda pendaratan utama pesawat campuran,

MTOW = berat lepas landas maksimum (lbs.),

N = jumlah roda pada masing-masing *main gear*.

Dari tabel 4.6, didapat data karakteristik pesawat untuk B-737-300 sebagai berikut:

- MTOW : 124,500 lbs.
- Konfigurasi roda pendaratan: *Tricycle* (2 *main gear* dan 1 *nose gear*)
- Tipe *gear* : *Dual wheel*
- Distribusi *main gear* : 46.3 %

Beban roda pesawat didapat sebagai berikut:

a. Pesawat rencana dipilih B-737-300

$$W_1 = 46.3 \% \times 124,500 \times \frac{1}{2} = 28,821.75 \text{ lbs.}$$

b. Pesawat campuran B-737-300

$$W_2 = 46.3 \% \times 124,500 \times \frac{1}{2} = 28,821.75 \text{ lbs.}$$

Dengan cara yang sama, untuk beban roda pesawat campuran lainnya dapat dilihat dalam tabel 5.6.

4. Menentukan EAD (R_1)

Equivalent Annual Departures pesawat rencana (R_1), didapat dengan menggunakan persamaan (3-4) berikut ini.

$$\text{Log } R_1 = \text{Log } R_2 \left[\frac{W_2}{W_1} \right]^{0.5}$$

dengan: R_1 = *Equivalent Annual Departures* pesawat rencana.

R_2 = *Annual Departures* pesawat campuran.

W_1 = beban satu roda pendaratan utama pesawat rencana,

W_2 = beban satu roda pendaratan utama pesawat campuran.

Sebagai contoh, menghitung *Equivalent Annual Departures* (R_1) untuk pesawat campuran B-737-300, dengan data sebagai berikut:

- Beban satu roda pesawat rencana B-737-300 (W_1) = 28,821.75 lbs.
- Beban satu roda pesawat campuran B-737-300 (W_2) = 28,821.75 lbs.
- *Annual Departures* pesawat B-737-300 (R_2) = 14,067

EAD (*Equivalent Annual Departures*) pesawat rencana (R_1), untuk pesawat campuran B-737-300 adalah sebagai berikut:

$$\text{Log } R_1 = \text{Log } R_2 \left[\frac{W_2}{W_1} \right]^{0.5}$$

$$\text{Log } R_1 = \text{Log } 14,067 \left[\frac{28,821.75}{28,821.75} \right]^{0.5}$$

$$\text{Log } R_1 = (\text{Log } 14,067) (1)$$

$$\text{Log } R_1 = 4.1482$$

$$R_1 = 10^{4.1482} = 14,067$$

Dengan cara yang sama, EAD pesawat rencana untuk pesawat campuran lainnya, dirangkum dalam tabel 5.6 berikut ini.

Tabel 5.6 Perhitungan EAD pesawat rencana

No	Tipe Pesawat	W_2 (lbs)	W_1 (lbs)	R_2	R_1
1	B-737-300	28,821.75	28,821.75	14,067	14,067
2	DC-9-32	27,951	28,821.75	6,170	5,403
3	F-28-4000	16,790	28,821.75	1,974	328
4	F-27-500	10,687.5	28,821.75	2,468	117
				ΣR_1	19,915

Dari tabel 5.6 diatas, untuk pesawat B-737-300 diperoleh total *Equivalent Annual Departures* (ΣR_1) terbesar, sehingga asumsi bahwa B-737-300 sebagai pesawat terbesar adalah benar. Karena $\Sigma R_1 = 19,915$ lebih kecil dari 25,000 maka tidak ada faktor koreksi tebal lapis keras.

5. Menentukan Tebal Lapis Keras

Dari tabel 5.4 dan 5.6, didapat data perancangan untuk metode FAA sebagai berikut:

- Jenis pesawat rencana B-737-300
- MTOW = 124,500 lbs.
- Total *Equivalent Annual Departures* = 19,915
- Nilai CBR *subgrade* 6 %, CBR *subbase course* 25 %, CBR *base course* 80 %,

Dengan memasukkan data CBR *subgrade* 6 % dan *Equivalent Annual Departures* sebesar 19,915 pada lampiran 9, maka didapat tebal total lapis keras rencana sebesar:

$$\begin{aligned} H_t &= 32.1 \text{ in.} \\ &= 32.1 \times 2.54 = 81.53 \text{ cm.} \sim 82 \text{ cm.} \end{aligned}$$

Tebal *base course* didapat dengan cara memasukkan data CBR *subbase course* 25 % dan total *Equivalent Annual Departures* sebesar 19,915 pada lampiran 9, maka didapat tebal *surface course* dan *base course* sebesar:

$$\begin{aligned} H_1 + H_2 &= 12.4 \text{ in.} \\ &= 12.4 \times 2.54 = 31.49 \text{ cm.} \sim 31.5 \text{ cm.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_1 &= 10.5 \text{ cm. (tebal } \textit{surface course} \text{ minimal 4 in.} \\ &= 4 \times 2.54 = 10.16 \text{ cm.} \sim 10.5 \text{ cm.)} \end{aligned}$$

$$H_2 = 31.5 - 10.5 = 21 \text{ cm.}$$

Kontrol tebal *base course* minimum digunakan lampiran 10, maka didapat tebal *base course* minimum sebesar:

$$\begin{aligned} H_2 &= 10.2 \text{ in.} \\ &= 10.2 \times 2.54 = 25.9 \text{ cm.} \sim 26 \text{ cm.} > 21 \text{ cm.} \end{aligned}$$

Dipakai tebal *base course* = 26 cm.

Setelah tebal *surface course* dan *base course* didapat, maka tebal *subbase course* didapat dari:

$$\begin{aligned} H_3 &= H_t - H_1 - H_2 \\ &= 82 - 10.5 - 26 = 45.5 \text{ cm.} \end{aligned}$$

6. Hasil Akhir Tebal Lapis Keras Metode FAA

Dengan melihat faktor ekuivalensi untuk penggunaan bahan lapis keras yang distabilitasasi pada tabel 2.1 dan tabel 2.2, maka tebal akhir lapis keras lentur metode FAA dapat dirangkum pada tabel 5.7 berikut ini.

Tabel 5.7 Hasil akhir tebal lapis keras lentur metode FAA

No	Material	Tebal Teori (cm)	Faktor Ekuivalen	Tebal Akhir (cm)
1	<i>Surface course</i> <i>Asphalt Penetration / Concrete</i>	10.5	-	10.5
2	<i>Base course</i> <i>Crushed Base Stone</i>	26.0	-	26.0
3	<i>Subbase course</i> <i>Granular / Crushed Stone</i>	45.5	-	45.5
Total Tebal				82

7. Analisis Terhadap Tebal Lapis Keras Landas Pacu yang Ada

Dari hasil perancangan lapis keras pada tabel 5.7, dilakukan analisis terhadap tebal lapis keras landas pacu yang ada. Hasil analisis perbandingan, dirangkum dalam tabel 5.8 berikut ini.

Tabel 5.8 Perbandingan tebal lapis keras landas pacu

No	Struktur Lapis Keras Landas Pacu	Tebal Landas Pacu yang Ada (cm)	Tebal Landas Pacu Hasil Analisis (cm)	Hasil Konversi Analisis (cm)
1	<i>Surface Course</i>	17.5	10.5	10.5
2	<i>Base Course</i>	30.0	26.0	26.5
3	<i>Subbase Course</i>	45.0	45.5	45.0
Total Tebal		92.5	82	82

Analisis perbandingan lapis keras lentur landas pacu pada tabel 5.8, dilakukan dengan cara sebagai berikut:

- Tebal *subbase course* yang dibutuhkan = 45.5 cm.
- Tebal *subbase course* yang ada = 45 cm.

Berarti terdapat kelebihan tebal *subbase course* yang dibutuhkan sebesar:

$$d_1 = 45.5 - 45 = 0.5 \text{ cm.}$$

Dianggap kelebihan tebal *subbase course* ini menjadi tebal *base course* yang dibutuhkan. Pada tabel 2.2, didapat faktor ekuivalen untuk *base course* batu pecah sebesar 1.4 - 2.0. Dengan mengambil harga rata-rata sebesar 1.7, maka tebal *base course* pengganti *subbase course* yang dibutuhkan sebesar:

$$t_1 = \frac{0.5}{1.7} = 0.29 \text{ cm.} \sim 0.5 \text{ cm.}$$

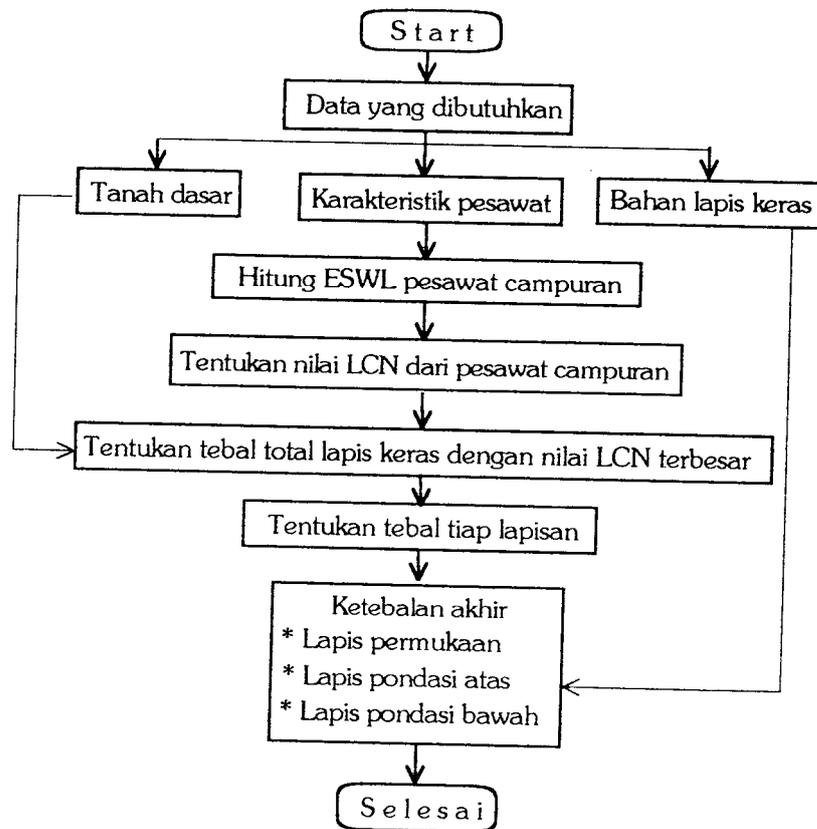
- Tebal *base course* yang dibutuhkan menjadi = $26 + 0.5 = 26.5 \text{ cm.}$
- Tebal *base course* yang ada = 30 cm.

Berarti terdapat kelebihan tebal *base course* yang ada pada landas pacu sebesar
 $= 30 - 26.5 = 3.5 \text{ cm.}$

Dari hasil analisis metode FAA, ternyata landas pacu bandar udara Adisutjipto Yogyakarta masih mampu untuk menampung lalulintas sampai dengan tahun 2005.

5.1.3 Metode LCN

Perancangan lapis keras landas pacu dengan metode FAA, dilakukan dengan langkah-langkah seperti bagan alir pada gambar 5.3 berikut ini.



Gambar 5.3 Bagan alir analisis tebal lapis keras landas pacu metode LCN

Sumber: Agus T.M. [1994]

1. Menentukan ESWL Pesawat Campuran

Contoh menghitung ESWL pesawat B-737-300, dari tabel 4.6 didapat data sebagai berikut:

- Jenis pesawat : B-737-300
- Konfigurasi roda pendaratan : *Tricycle (2 main gear & 1 nose gear)*
- Type *main gear* : *Dual Wheel*
- MTOW : 124,500 lbs.
- Tekanan roda : 166 psi
- Beban pada *nose gear* : 7.4 %
- Distribusi *main gear* : 46.3 %

Beban roda pada satu *main gear*

$$\begin{aligned}
 P_d &= \% \text{ distribusi } \textit{main gear} \times \text{MTOW} \\
 &= 46.3 \% \times 124,500 \\
 &= 57,643.5 \text{ lbs.}
 \end{aligned}$$

$$\frac{P_d}{2} = \frac{57,643.5}{2} = 28,821.75 \text{ lbs.}$$

- Jarak roda dari sumbu ke sumbu (S_d): 30.5 in.

$$2S_d = 30.5 \times 2 = 61 \text{ in.}$$

- Bidang kontak, digunakan persamaan (3-7).

$$\begin{aligned}
 \text{Bidang Kontak (A)} &= \frac{\text{Beban roda}}{\text{Tekanan roda}} \\
 &= \frac{57,643.5}{166} = 348 \text{ in}^2.
 \end{aligned}$$

$$\text{Bidang kontak satu roda (A}_c) = \frac{348}{2} = 174 \text{ in}^2.$$

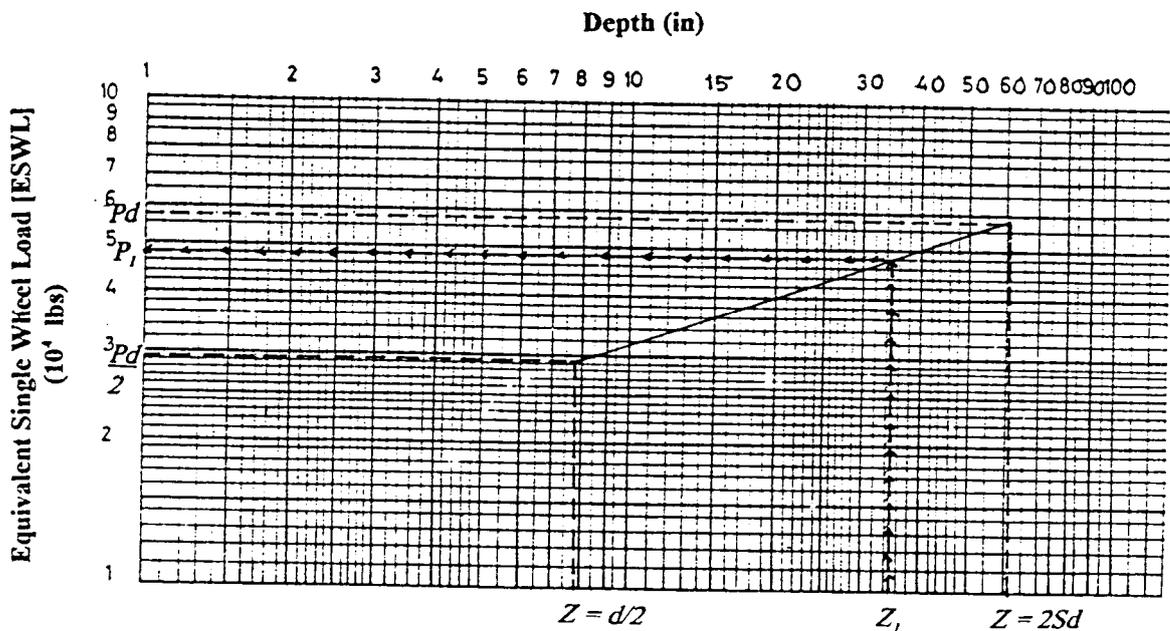
$$\begin{aligned} \text{Radius bidang kontak (r)} &= \sqrt{\frac{A_c}{\pi}} \\ &= \sqrt{\frac{174}{\pi}} = 7.4 \text{ in.} \end{aligned}$$

- Jarak dari roda ke roda bagian dalam (d):

$$\begin{aligned} d &= S_d - 2r \\ &= 30.5 - (2 \times 7.4) = 15.7 \text{ in.} \end{aligned}$$

$$\frac{d}{2} = \frac{15.7}{2} = 7.85 \text{ in.}$$

Tekanan akibat beban roda tunggal ekuivalen diasumsikan terjadi pada kedalaman antara 7.85 in. sampai 61 in. Dengan menggunakan gambar 3.8 yang diplotkan dalam grafik logaritma pada gambar 5.4 berikut ini, didapat beban roda tunggal ekuivalen sebesar 48,000 lbs.



Gambar 5.4 Analisis ESWL untuk pesawat B-737-300

Dengan cara yang sama untuk ESWL pesawat campuran lainnya, dirangkum dalam tabel 5.9 berikut ini.

Tabel 5.9 Perhitungan nilai ESWL

Jenis pesawat	MTOW (lbs.)	P_d (lbs.)	$P_d/2$ (lbs)	T. Roda (psi)	r (in.)	S_d (in.)	$2S_d$ (in)	d/2 (in)	ESWL (lbs.)
B-737-300	124,500	57,643.5	28,821.75	166	7.4	30.5	61	7.85	48,000
DC-9-32	121,000	55,902	27,951	152	7.6	25	50	4.9	46,000
F-28-4000	73,000	33,580	16,790	98	7.4	23.1	46.2	4.15	28,000
F-27-500	45,000	21,375	10,687.5	77	6.7	22	44	4.3	18,000

2. Menentukan Nilai LCN Pesawat

Setelah nilai ESWL didapat, kemudian nilai ESWL dan tekanan roda dimasukkan kegambar 3.7, maka untuk pesawat B-737-300 didapat nilai LCN sebesar 57. Dengan cara yang sama untuk jenis pesawat lainnya, dirangkum pada tabel 5.10 berikut ini.

Tabel 5.10 Nilai LCN berdasarkan ESWL dan tekanan roda

No	Jenis Pesawat	ESWL (lbs)	Tekanan Roda (psi)	Nilai LCN
1	B-737-300	48,000	166	57
2	DC-9-32	46,000	152	52
3	F-28-4000	28,000	98	33
4	F-27-500	16,000	77	17

Berdasarkan tabel 5.10, nilai LCN tertinggi dihasilkan oleh pesawat B-737-300 sebesar 57. Untuk menentukan tebal lapis keras, nilai LCN sebesar 57 dimasukkan kedalam lampiran 11, dengan cara sebagai berikut:

- Nilai CBR *subgrade* 6 % dan LCN 57, didapat tebal total lapis keras sebesar:

$$H_t = 31 \text{ in.}$$

$$= 31 \times 2.54 = 78.74 \text{ cm.} \sim 79.0 \text{ cm.}$$

- Nilai CBR *subbase course* 25 % dan LCN 57, didapat tebal lapis keras diatas *subbase course* sebesar:

$$H_1 + H_2 = 14.5 \text{ in.}$$

$$= 14.5 \times 2.54 = 36.83 \text{ cm.} \sim 37.0 \text{ cm.}$$

maka tebal *subbase course* (H_3) = $79.0 - 37.0 = 42.0 \text{ cm.}$

- Nilai CBR *base course* 80 % dan LCN 57, didapat tebal lapis keras diatas *base course* sebesar:

$$H_1 = 4.6 \text{ in.}$$

$$= 4.6 \times 2.54 = 11.68 \text{ cm.} \sim 12.0 \text{ cm.}$$

maka tebal *base course* (H_2) = $37.0 - 12.0 = 25.0 \text{ cm.}$

3. Hasil Akhir Tebal Lapis Keras Metode LCN

Hasil akhir tebal lapis keras lentur landas pacu dengan metode LCN, dirangkum dalam tabel 5.11 berikut ini.

Tabel 5.11 Hasil akhir tebal lapis keras metode LCN

No	Material	Tebal Akhir (cm)
1	<i>Surface course</i> <i>Asphalt Penetration / Concrete</i>	12.0
2	<i>Base course</i> <i>Crushed Base Stone</i>	25.0
3	<i>Subbase course</i> <i>Granular / Crushed Stone</i>	42.0
Tebal Total		79

4. Analisis Terhadap Tebal Lapis Keras Landas Pacu yang Ada

Dari hasil perancangan lapis keras pada tabel 5.11, dilakukan analisis terhadap lapis keras landas pacu yang ada. Hasil analisis perbandingan, dirangkum dalam tabel 5.12 berikut ini.

Tabel 5.12 Perbandingan tebal lapis keras landas pacu

No	Struktur Lapis Keras Landas Pacu	Tebal Landas Pacu yang Ada (cm)	Tebal Landas Pacu Hasil Analisis (cm)
1	<i>Surface Course</i>	17.5	12.0
2	<i>Base Course</i>	30.0	25.0
3	<i>Subbase Course</i>	45.0	42.0
Total Tebal		92.5	79

Dari tabel 5.12 diatas, terlihat bahwa tebal landas pacu yang ada untuk masing-masing lapisan masih mempunyai kelebihan ketebalan dibandingkan dengan tebal landas pacu hasil analisis.

Dari hasil analisis metode LCN, ternyata landas pacu bandar udara Adisutjipto Yogyakarta masih mampu untuk menampung lalulintas sampai dengan tahun 2005.

5.2 Pembahasan Hasil Analisis

Dengan menggunakan data perancangan yang sama, dan metode perancangan CBR, FAA, dan LCN, dalam menentukan tebal lapis keras lentur landas pacu bandar udara Adisutjipto Yogyakarta yang dianalisis pada prinsipnya sama, yaitu: merancang ketebalan lapis keras yang mampu menampung lalu lintas udara yang direncanakan selama umur rencana, sehingga dapat melayani jenis dan karakteristik pesawat yang direncanakan, secara aman dan nyaman.

5.2.1 Tinjauan Umum

Hasil analisis perancangan tebal lapis keras lentur landas pacu bandar udara Adisutjipto Yogyakarta, dirangkum dalam tabel 5.13 berikut ini.

Tabel 5.13 Hasil perancangan tebal lapis keras lentur landas pacu

Metode	Tebal Lapis Keras (cm)			
	<i>Surface Course</i>	<i>Base Course</i>	<i>Subbase Course</i>	Total
CBR	10.5	29.0	62.5	102.0
FAA	10.5	26.0	45.5	82.0
LCN	12.0	25.0	42.0	79.0

Pada tabel 5.13 dapat dilihat, bahwa hasil akhir dari tebal lapis keras lentur landas pacu dengan menggunakan data perancangan yang sama dan metode perancangan CBR, FAA, dan LCN, ternyata diperoleh hasil perhitungan tebal total lapis keras yang berlainan, tebal total lapis keras paling tipis adalah metode LCN dengan hasil 79.0 cm.

Perbedaan hasil akhir tebal lapis keras pada tabel 5.13 tersebut, dikarenakan adanya perbedaan asumsi, parameter, dan prosedur perancangan yang dipergunakan dalam penelitian dan pengembangan permasalahan lapis keras yang dilakukan oleh masing-masing badan penerbangan yang mengeluarkan metode tersebut.

5.2.2 Tinjauan Teknis

Dengan menggunakan metode perancangan CBR, FAA, dan LCN, maka secara teknis adalah perbandingan teori dari setiap metode yang digunakan untuk menentukan ketebalan lapis keras, dan akan menghasilkan tebal yang berbeda-beda sesuai dengan asumsi dalam perancangan metode tersebut.

1. Metode CBR

Pada metode CBR, pembebanan landas pacu ditentukan berdasarkan karakteristik dan konfigurasi roda pendaratan pesawat yang direncanakan akan beroperasi di bandar udara tersebut, serta kategori *traffic area* pada landas pacu. Perhitungan tebal lapis keras dengan metode CBR dilakukan dengan menggunakan pembebanan pesawat dan kategori *traffic area*, serta daya dukung tanah dasar.

Kesamaan metode CBR dengan metode FAA dan LCN, bahwa daya dukung tanah dasar dan bahan lapis keras (*subbase* dan *base course*) dinyatakan dalam nilai CBR.

2. Metode FAA

Dalam menentukan tebal lapis keras, metode FAA menggunakan pesawat rencana, yaitu pesawat terbesar yang menghasilkan ketebalan lapis keras terbesar dengan *Equivalent Annual Departures* (EAD) terbesar.

Perbedaan dengan metode CBR dan LCN, pada metode FAA jumlah pergerakan pesawat campuran (pesawat yang akan dilayani), dinyatakan dalam jumlah EAD (*Equivalent Annual Departures*) pesawat rencana. *Annual Departures* dari semua jenis pesawat yang akan dilayani, dikonversikan kedalam *Annual Departures* pesawat rencana dengan faktor konversi dari tipe roda pendaratan utama. Dalam pembebanan, beban pesawat didistribusikan ke roda pendaratan utama (*main gear*) dan roda depan (*nose gear*), tergantung dari jenis dan konfigurasi roda pendaratan utama pesawat tersebut.

Kesamaannya dengan metode CBR dan LCN, daya dukung tanah dasar dan bahan lapis keras (*subbase* dan *base course*) dinyatakan dalam nilai CBR. Dengan menggunakan bahan yang distabilisasi untuk *subbase course* dan *base course*, maka tebal lapisan tersebut dapat dikurangi dengan faktor ekuivalen, tetapi tebal lapisan ini harus memenuhi syarat tebal minimum yang ditetapkan.

3. Metode LCN

Pada metode perancangan LCN, jumlah pergerakan dan komposisi dari lalu lintas pesawat tidak diperhitungkan, yang diperhitungkan dalam menentukan tebal lapis keras hanya pesawat yang mempunyai nilai LCN terbesar, sehingga didapat total tebal lapis keras terbesar. Perhitungan tebal lapis keras dalam metode LCN, dilakukan dengan menggunakan sistem roda tunggal ekuivalen atau ESWL (*Equivalent Single Wheel Load*), sehingga dapat dikatakan bahwa nilai LCN merupakan fungsi dari ESWL dan tekanan roda (*tire pressure*).

Untuk menentukan tebal tiap bagian lapis keras, maka daya dukung tanah dasar dan bahan lapis keras (*subbase* dan *base course*) dinyatakan dalam nilai CBR.

5.2.3 Tinjauan Ekonomis

Dari hasil analisis lapis keras pada tabel 5.13, dengan tebal total yang berbeda-beda, maka secara ekonomis (investasi), harga konstruksi untuk setiap metode perancangan akan berbeda-beda. Dengan melihat daftar harga material pada lampiran 12, maka dapat dilihat besarnya biaya yang dikeluarkan untuk membangun suatu konstruksi lapis keras, khususnya lapis keras lentur landas pacu bandar udara Adisutjipto.

1. Metode CBR

Tabel 5.14 Perhitungan harga konstruksi untuk metode CBR

No	Lapis Keras	Tebal (m)	Harga per m ³ (Rp.)	Harga per m ² (Rp.)
1	<i>Surface course</i>	0.105	141,185	14,825
2	<i>Base course</i>	0.290	101,805	29,524
3	<i>Subbase course</i>	0.625	34,870	21,794
Jumlah		1.02	277,860	66,143

Jadi harga konstruksi lapis keras dengan metode CBR tiap meter persegi sebesar Rp. 66,143.00

2. Metode FAA

Tabel 5.15 Perhitungan harga konstruksi untuk metode FAA

No	Lapis Keras	Tebal (m)	Harga per m ³ (Rp.)	Harga per m ² (Rp.)
1	<i>Surface course</i>	0.105	141,185	14,825
2	<i>Base course</i>	0.260	101,805	26,470
3	<i>Subbase course</i>	0.455	34,870	15,866
Jumlah		0.82	277,860	57,161

Jadi harga konstruksi lapis keras dengan metode FAA tiap meter persegi sebesar Rp. 57,161.00

3. Metode LCN

Tabel 5.16 Perhitungan harga konstruksi untuk metode LCN

No	Lapis Keras	Tebal (m)	Harga per m ³ (Rp.)	Harga m ² (Rp.)
1	<i>Surface course</i>	0.120	141,185	16,943
2	<i>Base course</i>	0.250	101,805	25,452
3	<i>Subbase course</i>	0.420	34,870	14,646
Jumlah		0.79	277,860	57,041

Jadi harga konstruksi lapis keras dengan metode LCN tiap meter persegi sebesar Rp. 57,041.00

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari analisis lapis keras lentur landas pacu bandar udara Adisutjipto Yogyakarta, penulis dapat menyimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Dengan menggunakan metode perancangan CBR, FAA, dan LCN, ternyata struktur lapis keras lentur landas pacu masih mampu untuk menampung lalu lintas udara sampai dengan tahun 2005, dengan pesawat terbesar B-737-300.
2. Hasil akhir tebal lapis keras lentur landas pacu (tinjauan ekonomis), didapat sebagai berikut:
 - Metode CBR, menghasilkan tebal total 102 cm., dengan harga konstruksi tiap meter persegi sebesar Rp. 66,143.00
 - Metode FAA, menghasilkan tebal total 82.0 cm., dengan harga konstruksi tiap meter persegi sebesar Rp. 57,161.00
 - Metode LCN, menghasilkan tebal total 79.0 cm., dengan harga konstruksi tiap meter persegi Rp. 57,041.00

3. Perbedaan utama dari ketiga metode analisis perancangan CBR, FAA, dan LCN adalah pada asumsi, parameter, dan prosedur perancangan yang dipergunakan dalam penelitian dan pengembangan permasalahan lapis keras landas pacu yang dilakukan oleh masing-masing badan penerbangan yang mengeluarkan metode tersebut.
4. Dari analisis tebal total lapis keras lentur landas pacu, maka perancangan dengan **metode LCN** merupakan hasil terbaik dalam studi "**Analisis Lapis Keras Lentur Landas Pacu Bandar Udara Adisutjipto Untuk Menampung Lalulintas Sampai Dengan Tahun 2005**".

6.2 Saran

Dari hasil analisis perancangan lapis keras lentur landas pacu bandar udara Adisutjipto Yogyakarta yang dilakukan, penulis mengajukan beberapa saran:

1. Pada setiap kurun waktu sepuluh tahun, supaya diadakan evaluasi terhadap kinerja landas pacu.
2. Untuk keperluan perawatan (*maintenance*) landas pacu, sebaiknya dilakukan secara berkala setiap akhir tahun, sehingga apabila terjadi kerusakan dapat segera dilakukan perbaikan.

3. Perlu diadakan analisis untuk prediksi lalu lintas, dengan mempertimbangkan perkembangan teknologi pesawat terbang, agar lalu lintas udara yang akan datang dapat dilayani oleh landas pacu yang ada.
4. Akan lebih lengkap apabila analisis struktur lapis keras lentur landas pacu ini, disertai dengan analisis kinerja lapis permukaannya, agar data yang didapat dari analisis ini lebih lengkap, sehingga evaluasi terhadap kinerja landas pacu akan lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

1. Agus Taufik Mulyono, 1994, **Perbandingan Perancangan Tebal Lapis Keras Lentur Landas Pacu Metode LCN, FAA, dan STBA (Studi Kasus pada Studi Kelayakan Pengembangan Bandar Udara Baru di Lombok)**, Media Teknik No. 1 Tahun XVI ISSN 0216-3012, Yogyakarta.
2. Bruce Douglas Greensheilds and Frank Mark Wieda, 1978, **Statistic with Application to Highway Traffic Analyses**, 2nd. ed., Eno Foundation for Transportation Inc., Westport.
3. Boeing Commercial Airplane Group, 1990, **Airplane Characteristics for Airport Planning**, B-737-300/400/500 D6-58325-2, Washington DC.
4. Djoko Murwono, 1995, **Evaluasi Kinerja Landasan pacu Bandar Udara Yang Menggunakan Konstruksi Lapis Keras Lentur**, Seminar sehari mahasiswa jurusan Teknik Sipil se-DIY, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan UII, Yogyakarta.
5. E.J. Yoder and M.W. Witzak, 1975, **Principles of Pavement Design**, 2nd. ed., Jhon Wiley & Sons Inc., New York.
6. Heru Basuki, 1985, **Merancang, Merencanakan Lapangan Terbang**, Alumni, Bandung.
7. Robert Horonjeff and Francis X. McKelvey, 1994, **Planning & Design of Airports**, 4th. ed., McGraw-Hill Inc., New York.
8. Michel Sargious, 1975, **Pavements and Surfacing for Highways and Airports**, Applied Science Publishers Ltd., London.
9. Wardhani Sartono, 1992, **Airport Engineering**, pt. 1: Geometric Design, Literature, Yogyakarta.
10. Wardhani Sartono, 1992, **Airport Engineering**, pt. 2: Pavement Design, Literature, Yogyakarta.
11. Wardhani Sartono, 1995, **Pengaruh Struktur dan Kondisi Permukaan Perkerasan Landas Pacu Bandar Udara Terhadap Keselamatan Penerbangan**, Stadium Generale dalam rangka memperingati Indonesia Emas, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan UII, Yogyakarta.
12. _____, 1995, **Rencana Kerja dan Syarat-Syarat, Pekerjaan Fasilitas dan Prasarana Sisi Udara Bandar Udara Adisutjipto Yogyakarta Tahun Anggaran 1994-1995**, Departemen Perhubungan, Yogyakarta.

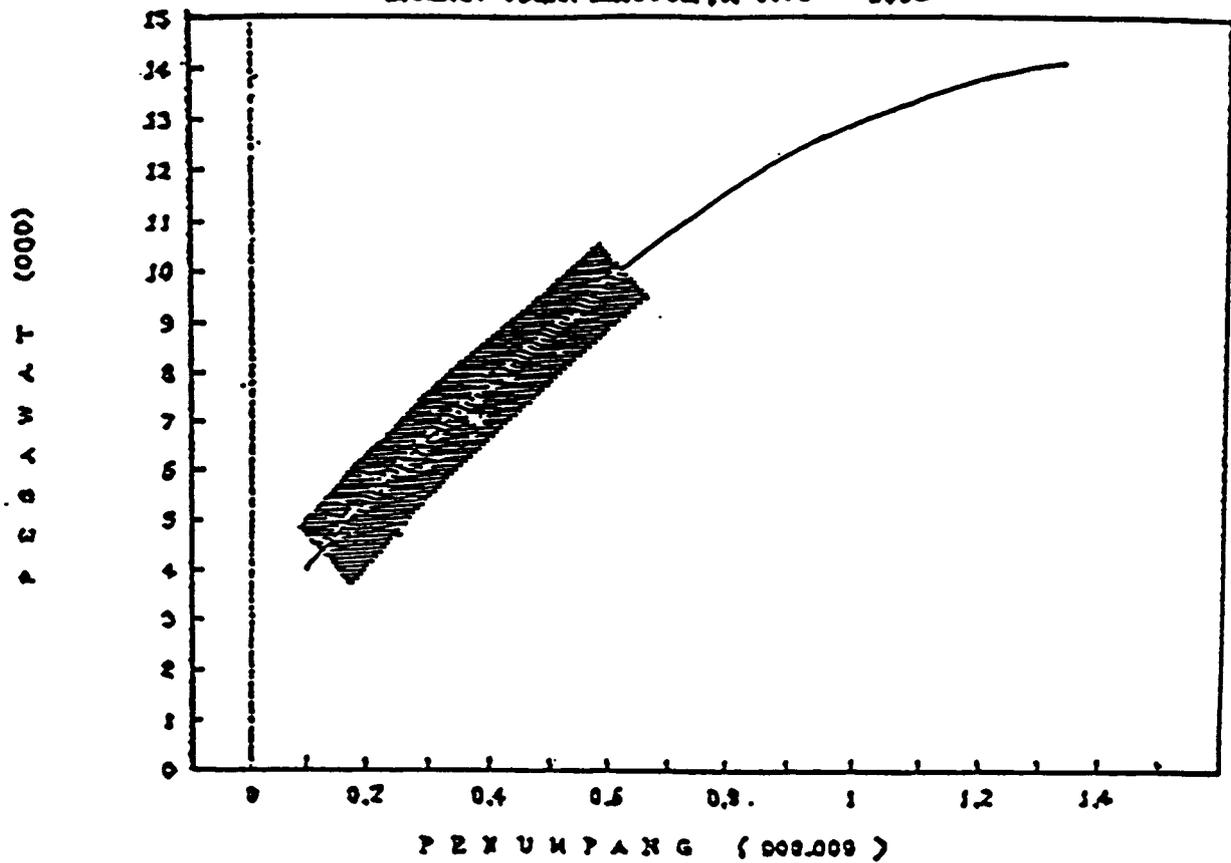
Data Lalulintas Pesawat Dan Penumpang
Tahun 1975 - 1990
Bandar Udara Adisutjipto Yogyakarta

No	Tahun	Pesawat	Penumpang
1	1975	2,593	142,211
2	1976	2,897	207,767
3	1977	3,153	264,185
4	1978	3,053	265,768
5	1979	3,095	279,967
6	1980	2,379	254,838
7	1981	3,132	312,988
8	1982	2,742	280,079
9	1983	3,030	290,128
10	1984	3,168	294,157
11	1985	3,325	304,466
12	1986	3,663	336,871
13	1987	3,902	376,298
14	1988	3,973	415,949
15	1989	3,814	517,440
16	1990	4,885	572,910
Jumlah		54,380	5,110,452

Sumber: PT (persero) Angkasa Pura I Yogyakarta [1995]

PERGERAKAN PENUMPANG DAN PESAWAT

BOEDAR UDARA LISJUCEPTO, 1975 - 1995



Grafik Trend Pergerakan Pesawat tahun 1975 - 1990

Sumber: PT (persero) Angkasa Pura I Yogyakarta

Data Lalulintas Angkutan Udara Bandar Udara Adisutjipto Yogyakarta
Tahun 1990 - 1995

No	Tahun	Pesawat			Penumpang		
		Kedatangan	Keberangkatan	Kedatangan	Keberangkatan	Transit	
1	1990	2,443	2,442	276,864	291,491	4,555	
2	1991	4,982	4,973	297,108	322,891	12,026	
3	1992	6,286	6,363	370,238	378,782	34,191	
4	1993	7,164	7,172	487,602	499,461	43,280	
5	1994	8,877	8,844	583,348	584,169	45,351	
6	1995	10,038	10,056	565,537	570,503	46,039	
Jumlah		39,790	39,850	2,580,697	2,647,297	185,442	

Sumber: PT (persero) Angkasa Pura I Yogyakarta [1995]

Data Lalulintas Udara
Bandar Udara Adisutjipto Yogyakarta Tahun 1995

A. Pesawat Komersial (Penerbangan terjadual)

No.	Modul	Kapasitas Tempat Duduk	Tipe Pesawat Terbang	Pergerakan
1	M 150	150	B-737-300	11,152
2	M 100	100	DC-9-32, F-100, B-737-200	4,802
3	M 75	75	F 28-4000, ATP, F-70	1,639
4	M 50	50	F-27-500, CN-235, HS-748	1,971
Jumlah				19,564

Sumber: PT (persero) Angkasa Pura I Yogyakarta [1995]

B. Pesawat Militer dan Tamu Negara (Penerbangan Tak Terjadwal)

No	Jenis Pesawat	Pergerakan	No	Jenis Pesawat	Pergerakan
1	B-58	2	17	DASH-7	4
2	B-105	2	18	DASH-32	2
3	BAE-111-500	6	19	GORMEN I	18
4	BAE-146	14	20	GORMEN II	6
5	BE-442	2	21	GORMEN III	22
6	BARON	10	22	GORMEN IV	8
7	C-II	9	23	HELLY	26
8	C-130	2	24	HERCULAS	12
9	C-160	4	25	HS-125	26
10	C-650	4	26	KINGAIR	14
11	CAIRJET	2	27	LR-35	2
12	CALENCER	4	28	PA-28	2
13	CASSA-212-300	10	29	PUMA	2
14	CESNA	10	30	SG-831	1
15	CHARLI	282	31	SUPER KINGAIR	6
16	DA-5	2	32	VALCON	14
Jumlah		365	Jumlah		165

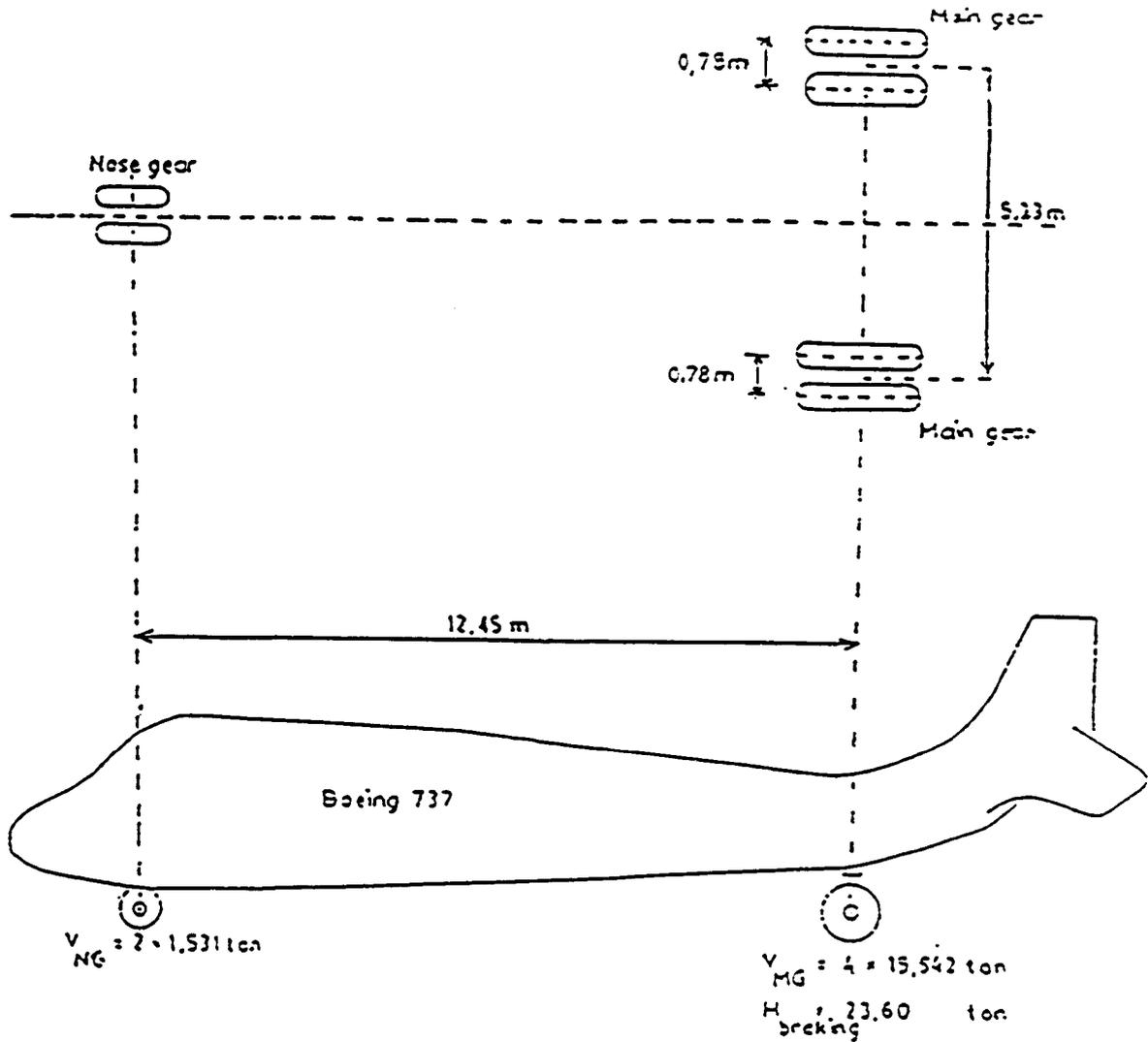
Sumber: PT (persero) Angkasa Pura I Yogyakarta [1995]

Data Karakteristik Pesawat Untuk Perencanaan Lapis Keras

No	Pesawat		MTOW		Landing Gear				
	Kapasitas	Tipe	Kg	Lbs	Tipe	T. Roda (psl)	Wheel Base (in.)	% Nose	% Main
1	M 150	B-737-300	56,523	124,500	Dual wheel	166	30.1	7.4	46.3
2	M 100	DC-9-32	54,934	121,000	Dual wheel	152	25	7.6	46.2
3	M 75	F-28-4000	33,142	73,000	Dual wheel	98	23.1	8.0	46.0
4	M 50	F-27-500	20,430	45,000	Dual wheel	77	22	5.0	47.5

Sumber: PT (persero) Angkasa Pura I Yogyakarta [1995]

Spesifikasi Pesawat B-737-300



Sumber: PT (persero) Angkasa Pura I Yogyakarta [1995]

PT (PERSERO) ANGKASA PURA I
BANDAR UDARA ADISUTJIPTO
YOGYAKARTA

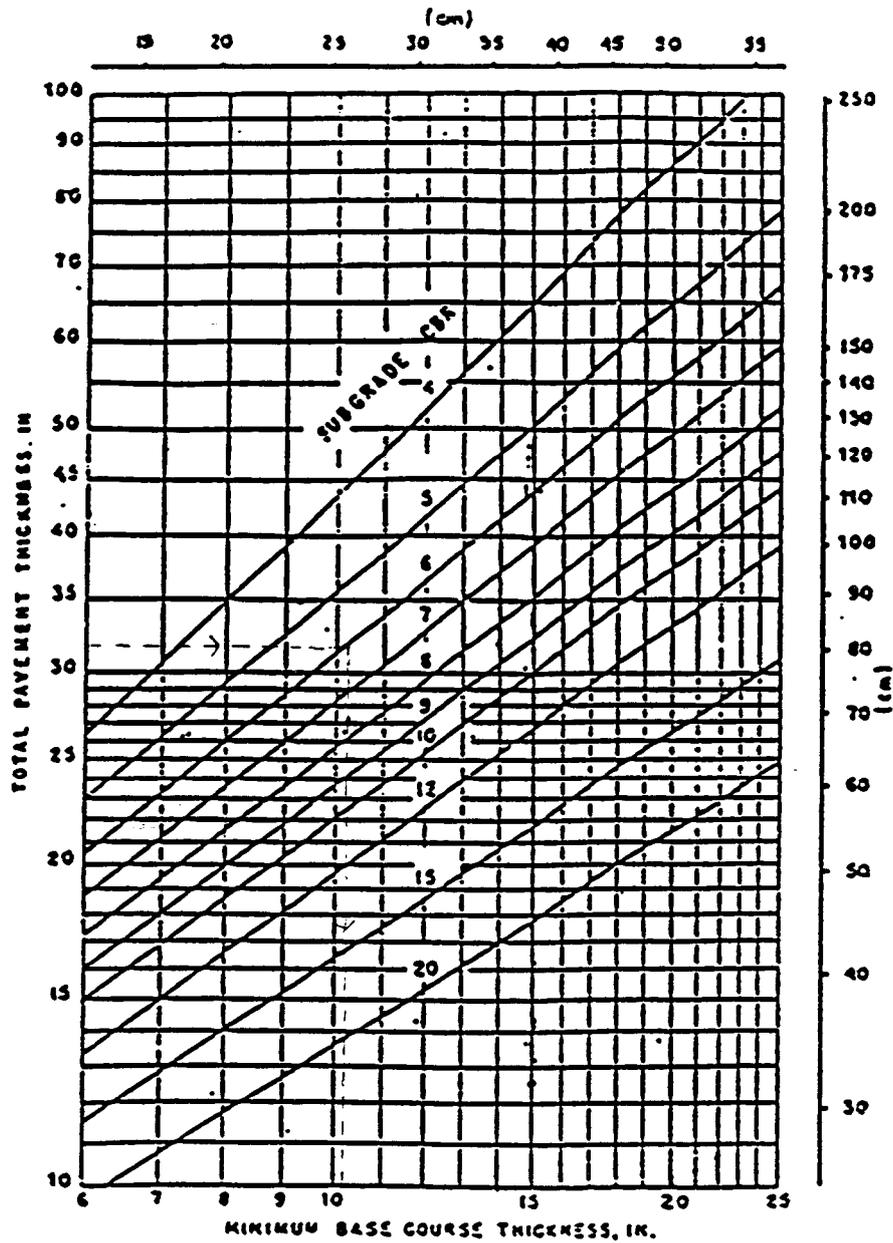
SPEKIFIKASI BANDAR UDARA

- A. NAMA : Bandara : Adisutjipto
Telepon : (0274) 512144, 560108, 560179
Telex : 25172
Facsimile: 560155
Alamat : Jl. Solo Km. 9 Yogyakarta.
- B. KLASIFIKASI BANDARA : Klas IB
C. LOKASI / LUAS : 07,47 LS - 110,26 BT / areal = 88.690 m².
D. ELEVASI : 107 m.
E. KODE ICAO / IATA : ICAO = WIIJ / IATA = JOG
F. JAM OPERASI : 06.00 - 21.00 WIB.
G. JARAK DARI KOTA : 9 Km.
H. LANDASAN : Sebutan : RWY 09 / RWY 27
Sudut Magnetik: 08,6 / 26,8
Ukuran : 2.200 x 45 m.
Kekuatan : PCN 38 FCXT.
Permukaan : Asphalt concrete.
- I. APRON : Kekuatan : 110.000 lbs.
Permukaan : Asphalt concrete.
Kapasitas : 8 parking standart B-737 dan sejenisnya.
Luas : Aspal beton = 14.749 m².
Semen concrete = 123,41 m².
- J. TERMINAL : Domestik (Kedatangan dan keberangkatan),
Luas = 4.480 m².
- K. JALAN DAN PARKIR : Jl. Umum dan parkir = 2.241 m².
- L. FASILITAS PENGAMANAN / AUDIO VISUAL & KOMPUTER: X'Ray, Walkthrough, Handy metal detector, Explosive detector, PAS, PABX.
- M. CATU DAYA LISTRIK : PLN : 555 KVA.
Standby genset: 500 dan 250 KVA.
UPS : nil.
- N. FASILITAS KOMUNIKASI : ADC, APP, Facsimile, Automatic Massage Switching Center, Telex (Visat), Direct Speech (Visat), TTY, Radio komunikasi (SSB).
- O. PKP-PK : Disyaratkan = CAT 7.
Tersedia = CAT 7.
- P. ALAT BANTU NAVIGASI : NDB, ILS, DVOR, DME, ATIS, RVR.
- Q. VISUAL AIDS : Runway Light, Pals CAT 1, SQFL, Threshold Vasi, Approach Light, Landing T, Taxiway.
- R. PELAYANAN METEO : Pengamatan = ada.
Prakiraan = ada.
Radio & Telekomunikasi = ada.
- S. MEKANIKAL / AIR : Sumur gali, kapasitas total = 60 liter / detik.
AC Control = 2.619.400 BTU/H.
Conveyor = 4 unit.
Mower = 2 unit.
Alat Besar = 2 unit.
- T. TRANSPORTASI : Taxi.
- U. FASILITAS PENUNJANG : Bea cukai, Karantina hewan / tumbuhan, imigrasi (on call), Gedung Cargo, DPPU Pertamina.
- V. PELAYANAN UMUM : Money Changer, Restoran, Telepon Umum, Waving Galery.

Data Landas Pacu Bandar Udara Adisutjipto Yogyakarta

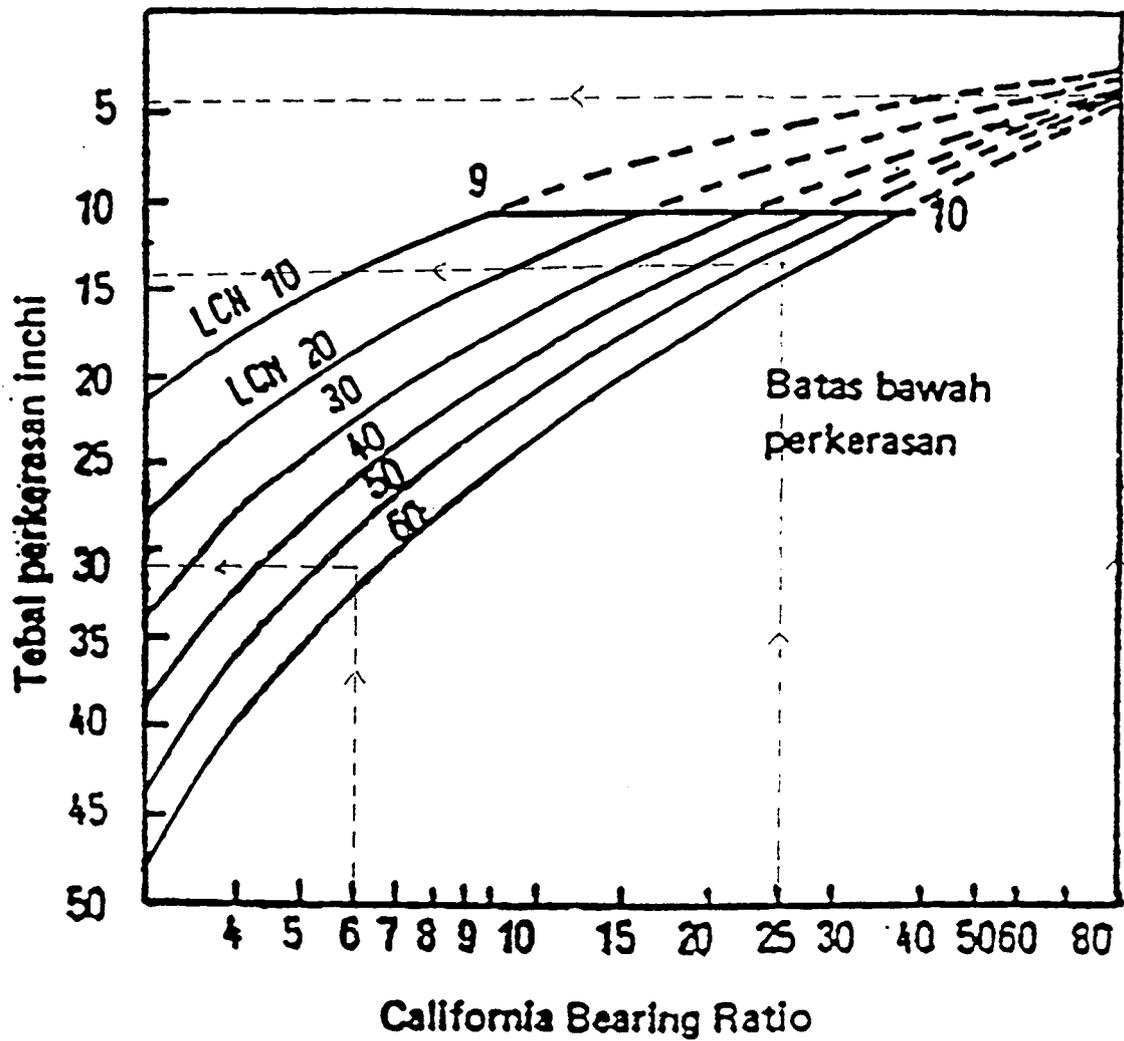
No	Data Landas Pacu	Kondisi
1	Konfigurasi	Single Runway
2	Pelayanan	Kedatangan & Keberangkatan
3	Lokasi	RWY 09 / RWY 27
4	Elevasi	107 m.
5	Surface Course	Asphalt Concrete = 12.5 cm. Asphalt Penetration = 5 cm.
6	Base course	Crushed Base Stone = 30 cm
7	Subbase Course	Granular / Crushed Stone = 45 cm.
8	Subgrade	Tanah Asli / Galian
9	Lebar	45 m.
10	Panjang landasan	Runway = 2200 m. Overrun = 60 m.
11	Effective Gradient	0.1736 %
12	Longitudinal Slope	
	Sta. 000 - 059	- 0.010 % s.d. - 0.760 %
	Sta. 059 - 232	+ 0.032 % s.d. + 0.980 %
	Sta. 232 - 370	- 0.010 % s.d. - 0.960 %
13	Maximum Slope Changes	0.42 %
14	Distence Between Slope Changes	
	Sta 000 - 059	295 m.
	Sta 059 - 232	865 m.
	Sta 232 - 370	690 m.
15	Transverse Slope	1.5 % (sisi utara & selatan)

Sumber: Departemen Perhubungan DIY [1995]



Kurva Perencanaan Tebal Minimum Base Course

Sumber: Wardhani S. [1992]



Kurva Perencanaan Lapis Keras Lentur Untuk Landas Pacu Metode LCN

Sumber: Heru Basuki [1985]

Tabel Daftar Harga Material

No	Material	Harga per m ³ (Rp)
1	SURFACE COURSE Asphalt Penetration/Concrete Esso 60/70	141,185
2	BASE COURSE Crushed Base Course Klas B	101,805
3	SUBBASE COURSE Granular Stone Klas A	34,870

Sumber: Departemen Perhubungan DIY [1995]