

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Metode CBR (*California Bearing Ratio*)

Metode CBR dikembangkan oleh *California Division of Highway* pada tahun 1928. Metode ini kemudian dipakai oleh *Corps of Engineer* dari Angkatan Bersenjata Amerika Serikat untuk keperluan bandar udara militer.

Pemakaian metode CBR dalam perencanaan penentuan ketebalan lapis pondasi bawah, pondasi atas dan lapis permukaan yang dibutuhkan dengan menggunakan beberapa kurva perencanaan dan pengujian tanah, telah memenuhi kriteria - kriteria pemilihan metode perencanaan. Syarat - syarat untuk pemilihan metode tersebut (R. Horonjeff & F.X. McKelvey, 1994), adalah :

1. Kemudahan prosedur pengujian tanah dasar dan bagian - bagian perkerasan lainnya.
2. Menghasilkan perkerasan yang diinginkan berdasarkan pengalaman
3. Dapat mengatasi masalah bandar udara dalam waktu relatif singkat.

Metode CBR digunakan untuk perencanaan penentuan ketebalan lapisan – lapisan *subbase*, *base* dan *surface* yang diperlukan, dengan memakai kurva – kurva rencana, dengan pengujian lapisan tanah yang sederhana.

Penyesuaian prosedur CBR terhadap perkerasan lapangan terbang yang menunjukkan hubungan empiris *CBR vs. ketebalan* ditunjukkan pada gambar 3.1. Kurva B menunjukkan tebal minimum dari struktur perkerasan untuk lalu lintas ringan. Kurva A menunjukkan tebal perkerasan pada kondisi lalu lintas jalan raya rata – rata. Analisis selanjutnya, bahwa kurva A yang menahan beban roda truk 9000 lbs diasumsikan mampu menahan beban roda pesawat 12.000 lbs. Hal ini disebabkan roda pesawat dioperasikan pada deformasi yang jauh lebih besar dari roda truk dan roda lalu lintas jalan raya mempunyai jalur roda – roda yang tertentu (terarah).

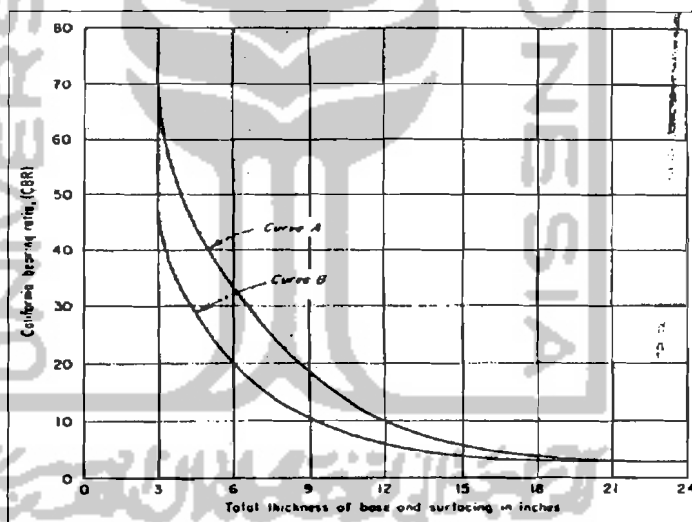
Corps of Engineers pertama kali menggunakan metode CBR, dengan tekanan kontak sebesar 60 lbs/in^2 dan bidang kontak dihitung untuk beban - beban roda tunggal berkisar 12.000 lbs, 25.000 lbs, 40.000 lbs hingga 70.000 lbs. Di gunakan teori Boussinesq untuk menentukan tegangan - tegangan geser akibat beban roda tunggal dan diplotkan dengan kedalaman yang ditunjukkan pada gambar 3.2. Tebal - tebal struktur perkerasan yang berhubungan dengan CBR sebesar 3, 5, 7 dan 10% pada kurva A diplotkan pada kurva tegangan geser untuk beban - beban roda (gambar 3.2), maka dapat ditentukan tegangan - tegangan dan kedalaman yang bersangkutan. Sebagai ilustrasi tegangan geser sebesar 5 psi akibat beban roda tunggal sebesar 12.000 lbs adalah ditumpu oleh lapisan dengan ketebalan 21 in untuk nilai CBR 3% (dari gambar 3.1).

Besarnya ketebalan lapisan tanah yang mampu menahan beban tersebut itulah yang diambil sebagai dasar perencanaan, sebab berdasarkan pengalaman tebal lapisan dan nilai CBR yang ada seperti diatas sudah teruji mampu menahan beban. Kedalaman tersebut dinyatakan sebagai ketebalan perkerasan, selanjutnya diplotkan ke grafik *CBR vs ketebalan* yang terlihat pada gambar 3.3.

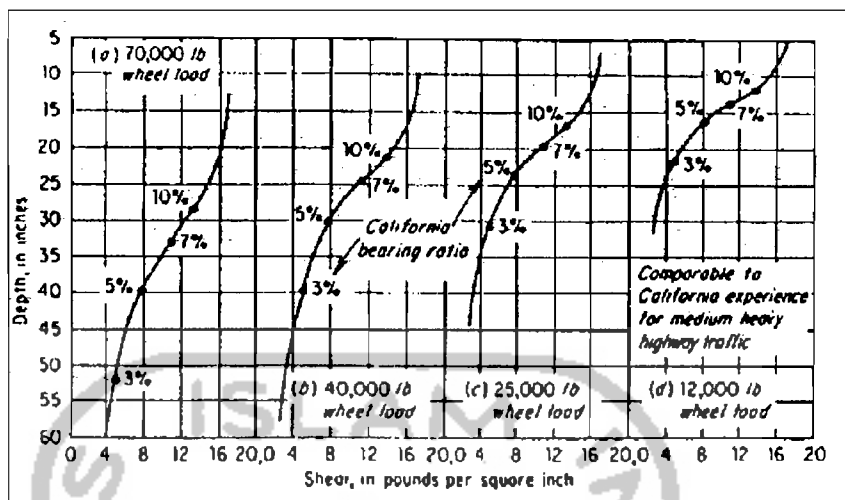
Gambar 3.3 adalah grafik perencanaan ketebalan sementara, sebagai pendekatan awal penggunaan grafik rencana dianggap yang paling baik dan telah terbukti cocok dengan ketebalan yang dikembangkan kemudian. Untuk hasil selanjutnya perlu diadakan koreksi dengan berdasarkan pengujian pembebanan skala penuh. Hasil pengujian yang mencakup pembuatan lintasan uji skala penuh menunjukkan bahwa kurva - kurva yang didapat dari pertimbangan - pertimbangan teoritis adalah konservatif untuk nilai - nilai CBR yang lebih tinggi.

Dari perhitungan teoritis dan data pengujian ditunjukkan bahwa beban roda tunggal, menghasilkan defleksi maksimum yang sama dengan yang dihasilkan oleh roda banyak dan akan menghasilkan regangan yang sama atau lebih besar pada lapisan pondasi di bandingkan dengan yang dihasilkan oleh beban roda banyak (R. Horonjeff & F.X. McKelvey).

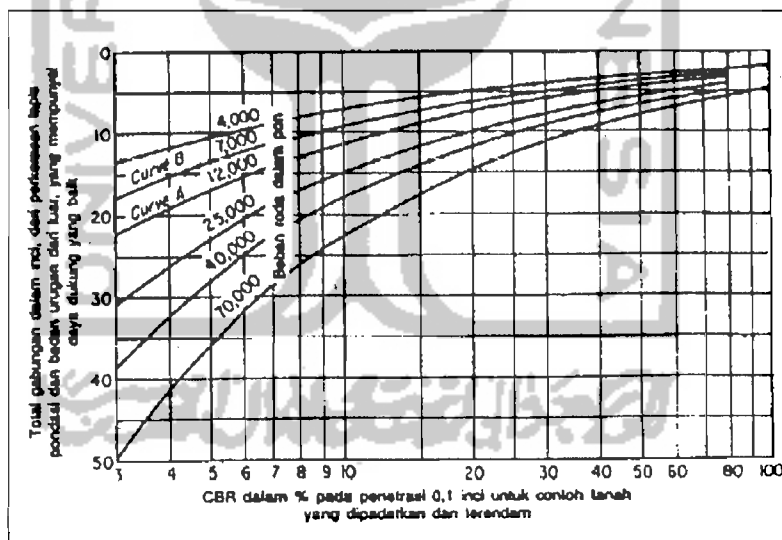
Dalam perencanaan ini digunakan konsep beban roda tunggal ekuivalen (ESWL) yaitu beban roda tunggal dianggap ekuivalen dengan beban roda banyak. Bidang kontak dari ESWL ini sama dengan bidang kontak pada salah satu roda dari susunan roda banyak. ESWL dihitung pada berbagai kedalaman (gambar 3.4) dengan menggunakan teori elastisitas untuk memenuhi kebutuhan penentuan tebal pada susunan roda banyak, dengan ukuran – ukuran roda dan beban total yang sudah diketahui. Untuk setiap kedalaman terdapat beban roda tunggal ekuivalen yang berbeda.



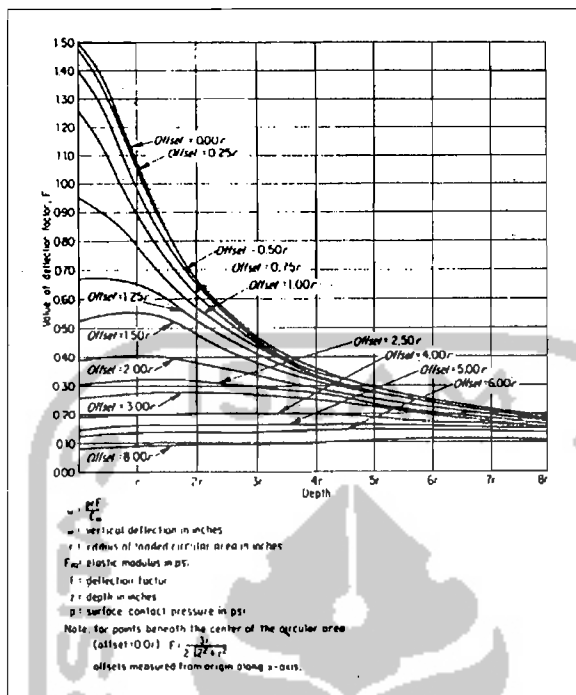
Gambar 3.1 Tebal lapisan perkerasan sehubungan dengan nilai CBR
Sumber : R. Horonjeff & R.X. McKelvey (1993)



Gambar 3.2 Ekstrapolasi tebal perkerasan jalan raya dengan teori elastis
 Sumber : R. Horonjeff & F.X. McKelvey (1993)



Gambar 3.3 Perencanaan sementara pondasi untuk perkerasan lentur
 Sumber : R. Horonjeff & F.X. McKelvey



Gambar 3.4 Faktor difleksi dengan radius r pada titik dibawah sumbu- x
 Sumber : R. Horonjeff & F.X. McKelvey

Lendutan (W) dinyatakan dengan persamaan Boussenisq yaitu untuk lendutan di bawah pusat pelat lentur (medium elastis).

$$W = \frac{prF}{E} \dots\dots\dots (3.1)$$

dengan :

W = Lendutan (difleksi)

P = Intensitas beban

E = Modulus elastisitas lapis keras

F = Faktor difleksi (didapat dari gambar 3.4)

Lendutan akibat beban roda tunggal : $W_s = \frac{rs}{E} p_s F_s$

Lendutan akibat beban roda ganda : $W_d = \frac{rd}{E} p_d F_d$

Karena $W_s = W_d$ dan $r_s = r_d$

Bidang kontak roda tunggal adalah sama dengan bidang kontak satu roda dari susunan roda ganda atau ratio ESWL (P_s) terhadap satu roda dari susunan roda ganda (P_d) adalah kebalikan dari ratio faktor - faktor defleksi maksimum.

Persamaan yang dihasilkan adalah :

$$\frac{P_s}{P_d} = \frac{F_d}{F_s} \dots\dots\dots (3.2)$$

Parameter - parameter yang dibutuhkan dalam perencanaan metode CBR pada beban roda tunggal untuk pengujian bagian - bagian dan prototip lapangan udara, adalah : tebal per akar pangkat dua dari bidang kontak (t / \sqrt{A}) dan CBR per tekanan ban, serta memisahkan beban kegagalan, tetapi bukan beban kegagalan untuk operasi - operasi yang mendekati kapasitas (kurang lebih 5000 lintasan). Pernyataan matematis untuk hubungan parameter tersebut adalah :

$$t = \sqrt{\frac{P}{8,1(CBR)} - \frac{A}{\pi}} \dots\dots\dots (3.3)$$

Dengan :

t = Tebal rencana, inci

P = Beban roda tunggal, lbs

A = Bidang kontak ban, inci²

Untuk mempehitungkan pengulangan beban dan konfigurasi roda banyak, persamaan diatas berubah menjadi :

$$t = f \sqrt{\frac{ESWL}{8,1(CBR)} - \frac{A}{\pi}} \quad (3.4)$$

dengan :

f = persentase tebal rencana ($0,23 \log C + 0,15$)

ESWL = beban roda - tunggal ekuivalen

C = *coverage* (lintasan roda untuk melewati setiap titik di lajur lalu lintas satu kali)

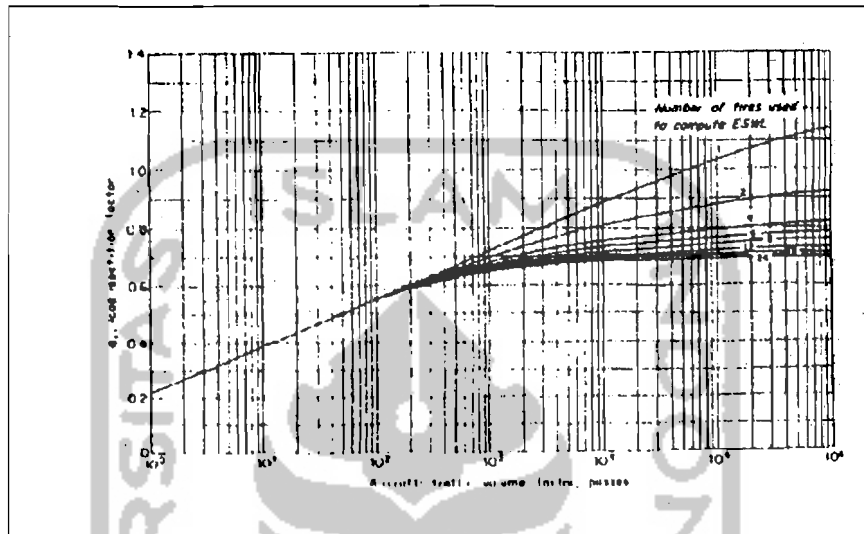
Penelaahan - penelaahan terhadap perkerasan yang menerima beban poros roda pendaratan utama pesawat berat dengan susunan banyak roda (misalnya B-747), menunjukkan bahwa tebal perkerasan yang didapat pada pengulangan - pengulangan beban yang lebih besar adalah kurang memadai apabila digunakan persamaan (3.4). Oleh karena itu metode perencanaan tebal rencana, kemudian menggunakan persamaan berikut :

$$t = ai \sqrt{\frac{ESWL}{8,1(CBR)} - \frac{A}{\pi}} \quad (3.5)$$

dengan :

α = faktor pengurangan beban, tergantung pada jumlah roda

pendaratan utama (misal DC - 9 - 32 digunakan 4 roda).



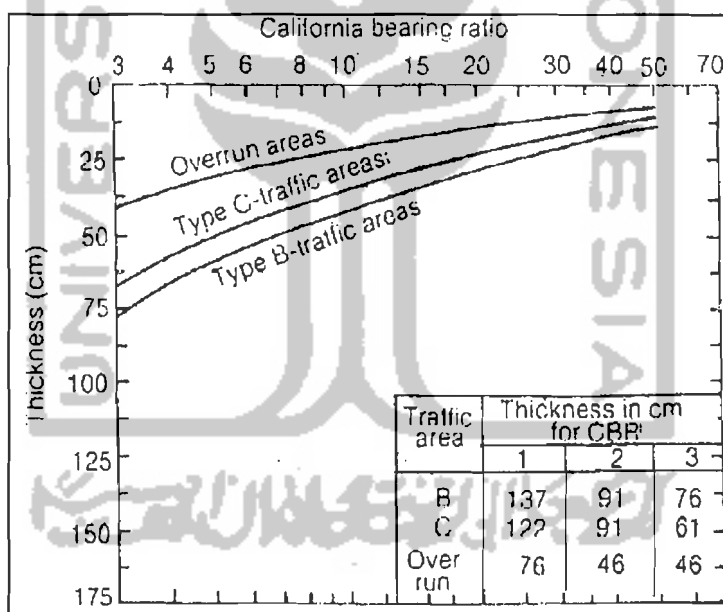
Gambar 3.5 Harga faktor pengurangan beban α
Sumber : R. Horonjeff & F.X. Mckelvey

Corps of Engineering dalam perencanaan lapis keras lentur memberikan 3 kategori kondisi pembebanan, sebagai berikut :

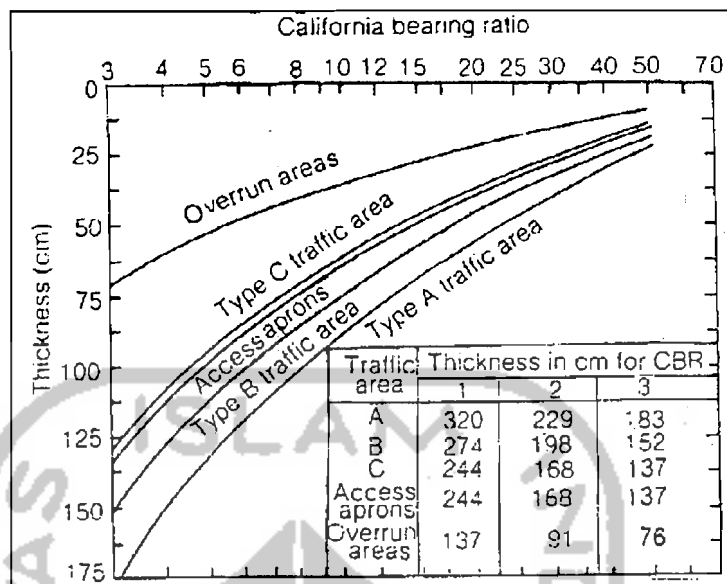
1. Pembebanan ringan (*Light Load*) dengan tipe roda pendaratan pesawat roda tunggal (*single wheel*) dan luas bidang kontak (A_c) = 100 in^2 .
2. Pembebanan sedang (*Medium Load*) dengan tipe roda pendaratan pesawat roda ganda, jarak roda 37 in dari as ke as dan luas bidang kontak (A_c) = 267 in^2 .

3. Pembebanan berat (*Heavy Load*) dengan tipe roda pendaratan *Dual tandem*, jarak roda 37-62-37 dari as ke as dan luas bidang kontak (A_c) = 267 in².

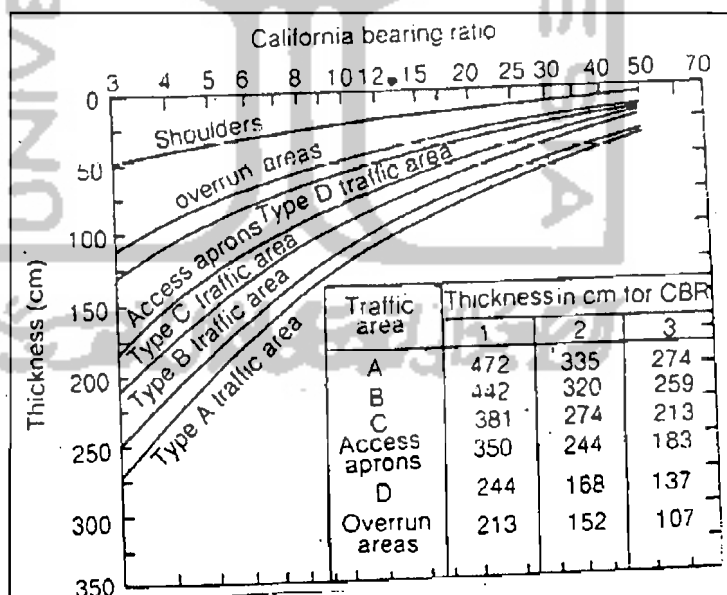
Dalam perencanaan lapis keras lentur seperti kasus di atas dapat digunakan kurva dasar perancangan pada gambar – gambar 3.6, 3.7 dan 3.8. Beban roda rencana masing – masing beban ringan (11,350 kg), medium (45,360 kg) dan berat (120,200 kg).



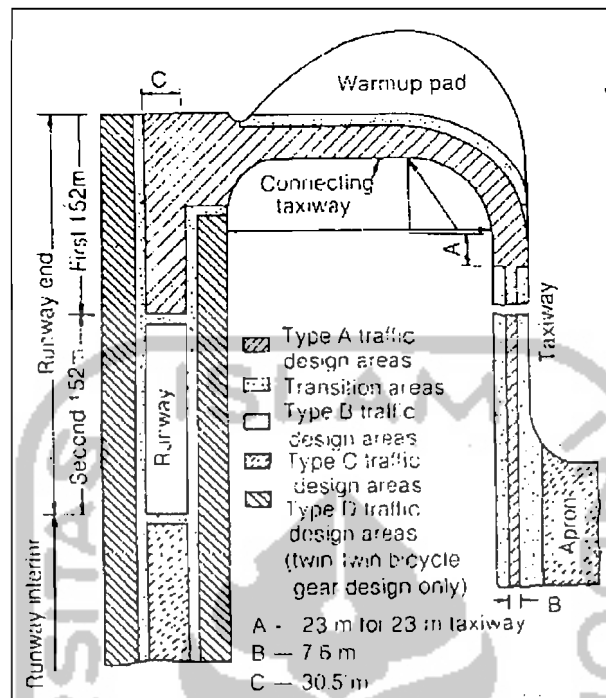
Gambar 3.6 Kurva perancangan lapis keras lentur untuk *light load*
Sumber : G. Venkatappa Rao (1992)



Gambar 3.7 Kurva perancangan lapis keras lentur untuk *medium load*
 Sumber : G. Venkatappa Rao (1992)



Gambar 3.8 Kurva perancangan lapis keras lentur untuk *heavy load*
 Sumber : G. Venkatappa Rao (1992)



Gambar 3.9 Layout *traffic area* untuk perencanaan lapis keras lentur
 Sumber : G. Venkatappa Rao (1992)

Masing - masing grafik perancangan tersebut diatas memberikan ketebalan - ketebalan pada daerah lalu lintas rencana (*design traffic area*) yang ditunjukkan pada gambar 3.9. Dari gambar di atas tersebut dapat dijelaskan masing - masing tipe daerah lalu lintas (*traffic area*) (N. Venkatappa Rao, 1992), yaitu :

a. Tipe A

Daerah lintasan didasarkan untuk beban terpusat maksimum pesawat, biasanya area tersebut terdiri dari *taxiway*, *taxiway* menuju *apron* dan pada 500 ft akhir *runway*.

b. Tipe B

Daerah lintasan didasarkan pada distribusi normal dari penyebaran beban maksimum pesawat. Fasilitas perkerasan tipe B termasuk 500 ft kedua pada akhir *runway*, *apron* dan perkerasan untuk pemeliharaan pesawat.

c. Tipe C

Daerah lintasan pada tipe ini mengalami pengurangan beban pesawat atau dimana hasil kecepatan pesawat kurang dari tegangan maksimum pada lapis keras termasuk bagian dalam *runway*, *taxiway* dan sekunder.

d. Tipe D

Daerah ini didasarkan pada lalulintas ringan yang kurang dari beban maksimum rata - rata. Daerah ini hanya diterapkan untuk bandar udara yang mengoperasikan pesawat B-52.

Lapisan *subbase* dapat terdiri dari bermacam – macam material, kondisi tanah dasar (*subgrade*) ada yang memungkinkan memenuhi syarat untuk

dijadikan lapisan *subbase* atau tanah dasar dapat distabilisasikan untuk kebutuhan *subbase*. *Corps of Engineers* menjelaskan bahwa penggunaan campuran tanah dasar untuk menghasilkan material *subbase* hanya dapat diijinkan bila nilai *liquid limit* dan *plasticity index* yang diperlukan untuk *subbase* dapat dipenuhi oleh tanah dasar alami (*natural subgrade*).

Tabel 3.1 Persyaratan *Subbase*

Lapisan	CBR rencana maksimum	Nilai maksimum yang diijinkan				
		<i>Gradation requirements</i> % passing				
		Ukuran (inch)	No. 10	No. 200	LL	PI
<i>Subbase</i>	50	3	50	15	25	5
<i>Subbase</i>	40	3	80	15	25	5
<i>Subbase</i>	30	3	100	15	25	5
Material terpilih	20	3	-	25	35	12

Tabel 3.2 CBR rencana untuk *Base Coarse*

Type	CBR rencana
Graded Crushed Aggregate	100
<i>Water - bound macadam</i>	100
<i>Dry - bound macadam</i>	100
Campuran aspal panas dari <i>central plant</i>	100
Batu kapur	80
Agregat yang distabilisir	80

Ketebalan lapis keras permukaan (*surface course*) dan lapis pondasi atas (*base course*) minimum untuk setiap daerah pembebanan pesawat di berikan pada tabel 3.3 - 3.5, di bawah ini :

Tabel 3.3 Ketebalan minimum untuk pembeban pesawat berat

Traffic Area	Minimum Thickness (in)					
	CBR base course - 100%			CBR base course - 80%		
	Pavement	Base	Total	Pavement	Base	Total
A	5	10	15	6	9	15
B	4	9	13	5	8	13
C	4	9	13	5	8	13
D	3	6	9	3	6	9
Access Apron	3	6	9	3	6	9
Shoulders	2	6	8	2	6	8

Tabel 3.4 Ketebalan minimum untuk pembebanan pesawat sedang

Traffic Area	Minimum Thickness (in)					
	CBR base course - 100%			CBR base course - 80%		
	Pavement	Base	Total	Pavement	Base	Total
A	4	6	10	5	6	11
B	3	6	9	4	6	10
C	3	6	9	4	6	10
Access apron	3	6	9	3	6	9

Tabel 3.5 Ketebalan minimum untuk pembebanan pesawat ringan

Traffic Area	Minimum Thickness (in)					
	CBR base course - 100%			CBR base course - 80%		
	Pavement	Base	Total	Pavement	Base	Total
B	3	6	9	4	6	10
C	3	6	9	3	6	9
Access apron	3	6	9	4	6	10

Sumber : Principles Of Pavement Desing, E. J. Yorder

3.2 Metode FAA (*Federal Aviation Administration*)

3.2.1 Penyelidikan Tanah

Perencanaan lapis keras dengan metode FAA saat ini adalah menggunakan sistem penggolongan tanah terpadu. Contoh tanah diuji untuk menentukan tipe tanah, gradasi dari butiran, batas - batas cair dan plastis, indeks plastisitas, hubungan kepadatan dan kelembaban, faktor - faktor susut, permeabilitas, kandungan organik dan sifat - sifat kekuatan termasuk CBR dan modulus reaksi tanah dasar. Penggolongan tanah terpadu pada dasarnya adalah memisahkan antara tanah berbutir kasar, halus dan tanah organik tinggi. Butiran kasar dan halus dibedakan pada banyaknya bahan yang tertahan pada saringan no. 200. Tanah berbutir kasar di bagi kedalam ukuran krikil dan pasir berdasarkan banyaknya bahan yang tertahan pada saringan no. 4. Sedangkan tanah berbutir halus dibagi menjadi dua kelompok, berdasarkan batas cair.

Di dalam perancangan lapis keras lentur umumnya digunakan nilai daya dukung tanah dasar (CBR) minimum 3 persen. Apabila nilai CBR kurang dari 3 persen dapat dilakukan stabilitas tanah dasar atau mengganti lapisan atas dengan bahan berkualitas yang lebih baik. Hal tersebut di maksudkan untuk menghindari lapis keras yang terlalu tebal, sehingga biaya konstruksi menjadi lebih mahal serta menghindari terjadinya defleksi yang sangat besar.

3.2.2 Pertimbangan Perencanaan Perkerasan

Parameter - parameter yang diperlukan untuk perencanaan meliputi berat lepas landas kotor, konfigurasi dan ukuran roda pendaratan, bidang kontak dan tekanan ban, dan volume lalu lintas. Parameter – parameter tersebut mempunyai hubungan dengan berat kotor pesawat. Maka dibuat grafik kurva perencanaan untuk menentukan ketebalan pekerasan, berdasarkan asumsi tertentu bagi konfigurasi roda – roda pendaratan pesawat. Kurva – kurva rencana dibuat terpisah dengan membedakan konfigurasi roda pendaratan tunggal, dua roda, *dual tandem wheel* dan pesawat berbadan lebar.

Data – data yang diasumsikan adalah sebagai berikut :

1. Pesawat dengan roda pendaratan tunggal (*single wheel*)

Diperhitungkan apa adanya (tidak ada asumsi khusus yang diperlukan).

2. Pesawat roda ganda (*Dual wheel*).

Studi tentang jarak antara poros roda – roda 51 cm (20 inch) cukup memadai untuk pesawat terbang ringan. Untuk pesawat terbang lebih berat jarak antara poros roda sama dengan 86 cm (34 inch).

3. Pesawat roda tandem ganda (*Dual Tandem wheel*)

Jarak antara poros - poros roda ganda 51 cm, jarak tandemnya 114 cm untuk pesawat ringan.

Untuk pesawat berat jarak antara roda ganda 76 cm dan jarak tandemnya 140 cm.

4. Pesawat berbadan lebar

Pesawat jenis ini adalah B-747, DC-10, L-1011, bentuk roda pendaratan serta berat pesawatnya sangat berlainan dengan pesawat jenis lainnya, karena itu khusus pesawat berbadan lebar dibuat kurva rencana sendiri.

Prosedur pertama perencanaan adalah menentukan ramalan keberangkatan tahunan dari setiap tipe pesawat dan mengelompokkan ukuran pesawat berdasarkan konfigurasi roda pendaratan untuk pesawat berbadan sempit dan tipe pesawat untuk pesawat berbadan lebar. Roda pendaratan utama memikul 95 persen dari berat lepas landas maksimum, sedangkan 5 persen lagi dipikul oleh roda depan.

Penentuan pesawat rencana sesuai kebutuhan tebal perkerasan yang paling besar yaitu pada nilai keberangkatan tahunan ekuivalen (EAD = *Equivalent Annual Departures*) terbesar, dan tidak pasti berdasarkan pesawat yang paling berat yang akan beroperasi di bandar udara.

Ramalan lalu lintas tahunan merupakan sekumpulan dari berbagai macam pesawat terbang yang mempunyai tipe roda pendaratan yang berbeda – beda dan berlainan beratnya.

Penentuan keberangkatan tahunan ekuivalen (EAD) pesawat campuran akibat perbedaan konfigurasi roda pendaratan utama yaitu dengan mengkonversi konfigurasi roda pesawat campuran tersebut kedalam konfigurasi roda pendaratan pesawat rencana. Faktor konversi keberangkatan tahunan pesawat campuran menjadi keberangkatan tahunan ekuivalen pesawat rencana, dirangkum dalam tabel 3.6, berikut ini:

Tabel 3.6 Faktor konversi roda ke pesawat rencana

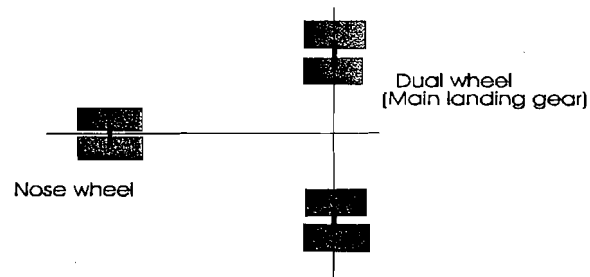
Konversi Dari	Ke	Faktor Konversi
Single Wheel	Dual Wheel	0,8
	Dual Tandem	0,5
Dual Wheel	Single Wheel	1,3
	Dual Tandem	0,6
Dual Tandem	Single Wheel	2,0
	Dual Wheel	1,7
Double Dual Tandem	Dual Wheel	1,7
	Dual Tandem	1,0

Sumber : R. Horonjeff & F.X. Mckelvey (1993)

Pada pada gambar 3.10.a – 3.10.d diberikan gambaran tipe konfigurasi roda dari beberapa jenis pesawat.



Gambar 3.10.a Konfigurasi roda pendaratan *single wheel*
(C – 212)



Gambar 3.10.b Konfigurasi roda pendaratan *dual wheel*
(DC-9, B-737, B-727)



Gambar 3.10.c Konfigurasi roda pendaratan *dual tandem wheel*
(B-707-320 B, CV 880, L-1011-100)



Gambar 3.10.d Konfigurasi roda pendaratan *Double dual tandem wheel*
(B-747-100)

Setelah pesawat terbang di kelompokkan menjadi konfigurasi roda pendaratan yang sama, maka tentukan keberangkatan tahunan ekuivalen

masing-masing pesawat. Keberangkatan tahunan ekuivalen pesawat untuk perencanaan ditetapkan dengan menjumlahkan keberangkatan tahunan ekuivalen setiap pesawat dalam kelompok, dengan menggunakan persamaan 3.6.

$$\text{Log } R_1 = \text{log } R_2 \left[\frac{W_2}{W_1} \right]^{0,5} \dots\dots\dots (3.6)$$

Dengan :

R_1 = EAD pesawat rencana

R_2 = jumlah keberangkatan tahunan pesawat campuran

W_1 = beban roda pesawat rencana

W_2 = beban roda pesawat campuran

Setelah departur tahunan ekuivalen ditentukan, maka selanjutnya rancangannya harus menggunakan kurva rancangan yang sesuai untuk rancangan pesawat terbang rencana.

Pada pengoperasian lepas landas pesawat di sebagian sistem landas pacu, sifat aerodinamika pesawat terbang dapat menurunkan beban perkerasan yang sebenarnya. Oleh karena itu perencanaan untuk daerah non kritis tebal perkerasan dapat dikalikan faktor 0,9 untuk tebal *subbase* dan *base*, sedangkan tebal lapis keras permukaan (*surface course*) di tentukan 10 cm (4 in) untuk daerah kritis dan 7,5 cm (3 in) untuk daerah non kritis. Tetapi untuk

memudahkan dalam pelaksanaan pekerjaan pada bagian persilangan (*typical cross section*) umumnya menggunakan tebal perkerasan untuk daerah kritis. Tebal lapis pondasinya juga perlu dikontrol terhadap persyaratan minimum dengan memperhatikan tebal lapis keras dan CBR tanah dasar.

Dalam hal tersebut diatas FAA memberikan kelonggaran perubahan tebal perkerasan pada permukaan yang berbeda sebagai berikut :

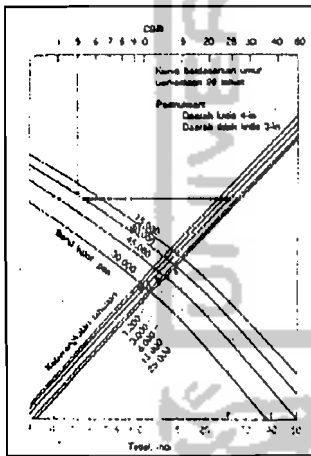
1. Tebal penuh T diperlukan ditempat pesawat yang akan berangkat, seperti apron, daerah tunggu (*holding area*), bagian tengah landas hubung (*taxiway*) dan landas pacu (*runway*).
2. Tebal perkerasan 0,9T digunakan oleh pesawat datang, seperti belokan landas pacu kecepatan tinggi.
3. Tebal perkerasan 0,7T digunakan pada tempat yang jarang dilalui pesawat, seperti tepi - tepi luar landas pacu dan landas hubung.

3.2.3 Perencanaan Perkerasan Lentur

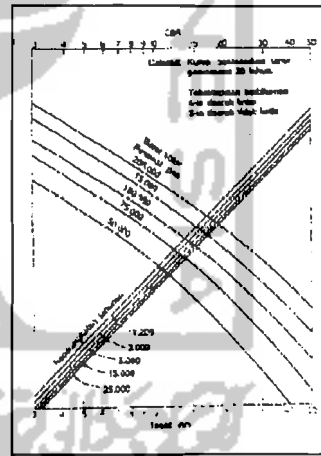
Dalam perencanaan tebal perkerasan lentur yang diperlukan, FAA menyajikan kurva - kurva perencanaan pada gambar 3.11 sampai 3.13, yang menggunakan data - data nilai CBR, berat lepas landas kotor dan keberangkatan tahunan ekuivalen (EAD) pesawat rencana.

Untuk menentukan tebal total perkerasan (lapis permukaan, pondasi atas dan pondasi bawah), digunakan CBR tanah dasar (*subgrade*) bersama- sama

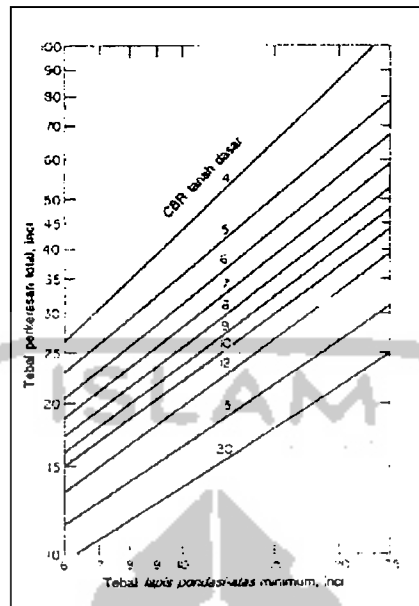
dengan berat lepas landas kotor dan jumlah keberangkatan tahunan ekuivalen pesawat rencana pada grafik perencanaan FAA. Sedangkan untuk mendapatkan tebal lapis permukaan dan lapis pondasi atas digunakan data CBR pondasi bawah bersama – sama dengan berat lepas landas kotor dan jumlah keberangkatan tahunan ekuivalen pesawat rencana. Meskipun demikian, tebal lapis pondasi atas minimum yang diperlukan diberikan batasan - batasan yang terdapat pada gambar (3.13). Lapis pondasi atas harus mempunyai tebal minimum 6 inci di daerah - daerah kritis.



Gambar 3.11 Grafik perencanaan untuk roda tunggal
Sumber : R. Horonjeff & F.X. McKelvey



Gambar 3.12 Grafik perencanaan untuk roda ganda
Sumber : R. Horonjeff & F.X. McKelvey



Gambar 3.13 Ketentuan tebal lapis pondasi atas minimum untuk perkerasan lentur.
Sumber : R. Horonjeff & F.X. McKelvey

Cara menggunakan kurva -kurva perencanaan dengan dimulai dari sumbu CBR, ditarik garis vertikal ke kurva berat lepas landas kotor, kemudian ditarik garis horisontal ke kurva keberangkatan tahunan ekuivalen (EAD) dan akhirnya ditarik lagi garis vertikal ke sumbu tebal perkerasan.

3.3 Metode LCN (*Load Classification Number*)

Metode LCN (*Load Classification Number* = Bilangan Penggolongan Beban) untuk perencanaan perkerasan dirumuskan dan dipublikasikan oleh *Air Ministry Directorat General of Work*, Inggris. Dalam metode ini kapasitas daya

dukung perkerasan dinyatakan dengan LCN. ESWL Juga dinyatakan sebagai LCN yang ditentukan oleh geometri roda, tekanan ban dan tebal perkerasan. Untuk dapat menggunakan perkerasan dengan aman maka LCN perkerasan lapangan terbang harus lebih besar daripada LCN pesawat. LCN perkerasan nilainya dipengaruhi oleh CBR tanah dasar dan tebal total lapis keras, sedangkan nilai LCN pesawat dipengaruhi oleh ESWL, tekanan roda dan jenis perkerasan (*flexible* dan *rigid*). Nilai LCN pesawat dapat ditentukan dengan menggunakan grafik pada gambar 3.16. Nilai LCN pesawat juga dapat dihitung dengan persamaan yang dikembangkan oleh *Boeing Pavement Evaluation*, 1976 sebagai berikut :

$$\text{LCN pesawat} = (1,14345 \times 10^{-3} \times \text{ESWL} \times \text{Tp}^{0,78895})^{0,820450} \dots\dots\dots (3.7)$$

Dengan : ESWL = *Equivalent Single Wheel Load* (lbs)

Tp = *Tire Pressure of main landing wheel* (psi)

Tabel 3.7 Hubungan antara beban roda, tekanan ban dan nilai LCN

Beban roda Lbs	Tekanan ban Lbs / in ²	Nilai LCN
100.000	120	100
90.000	115	90
80.000	110	80
70.000	105	70
60.000	100	60
50.000	95	50
40.000	90	40
30.000	85	30
20.000	80	20
10.000	75	10

Perkerasan lentur maupun perkerasan kaku di uji dengan pembebanan pelat (*bearing plates*) yang mempunyai bidang kontak yang berkisar antara 200 sampai 700 in² yang mewakili beberapa pesawat. Metode perancangan ini menggunakan kurva – kurva empiris yang didapat dari pengujian pembebanan (*loading tests*) diatas permukaan perkerasan dengan variasi ketebalan lapis keras dan daya dukung tanah dasar. Pengujian pembebanan pelat pada perkerasan lentur dan kaku telah menunjukkan hubungan antara *beban kegagalan vs. bidang kontak* dan diperlihatkan pada gambar (3.14).

Kurva tersebut diatas dirumuskan dalam bentuk :

$$\frac{W1}{W2} \left[\frac{A1}{A2} \right]^{0,44} \dots\dots\dots (3.8)$$

dengan :

W1, W2 = beban kegagalan yang berturutan, lbs

A1, A2 = luas daerah yang dibebani, in²

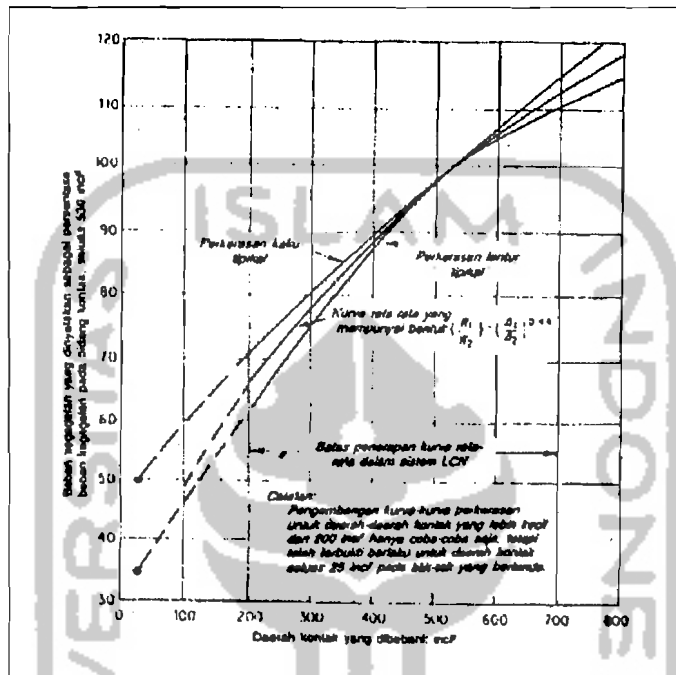
Pada gambar 3.14 perlu diperhatikan bahwa ordinat pada kurva menyatakan prosentase beban yang dibutuhkan untuk menghasilkan keruntuhan, apabila beban diaplikasikan pada pelat berdiameter 26 in (luas kontak area 530 in²).

Beban kegagalan pada perkerasan lentur merupakan beban yang menyebabkan pelat melendut secara progresif tanpa penambahan beban. Kurva LCN pada gambar 3.15 dibuat dengan cara sebagai berikut :

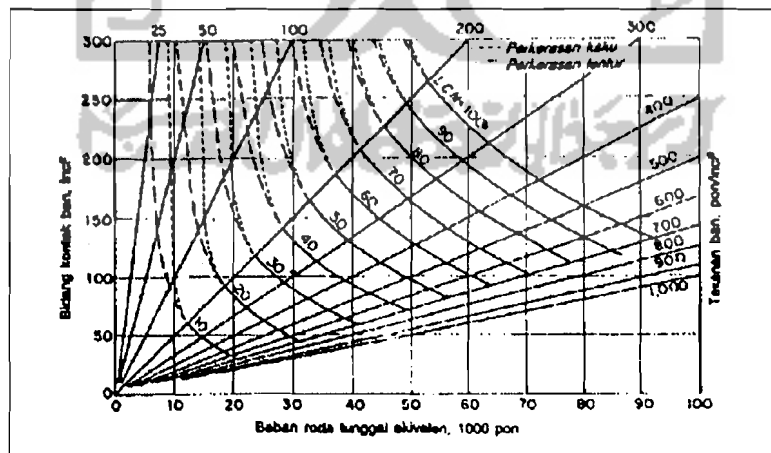
1. Garis bidang kontak ban didapat dari perbandingan beban dengan tekanan roda.

$$\text{Bidang kontak} = \frac{\text{Beban}}{\text{Tekanan ban}}$$

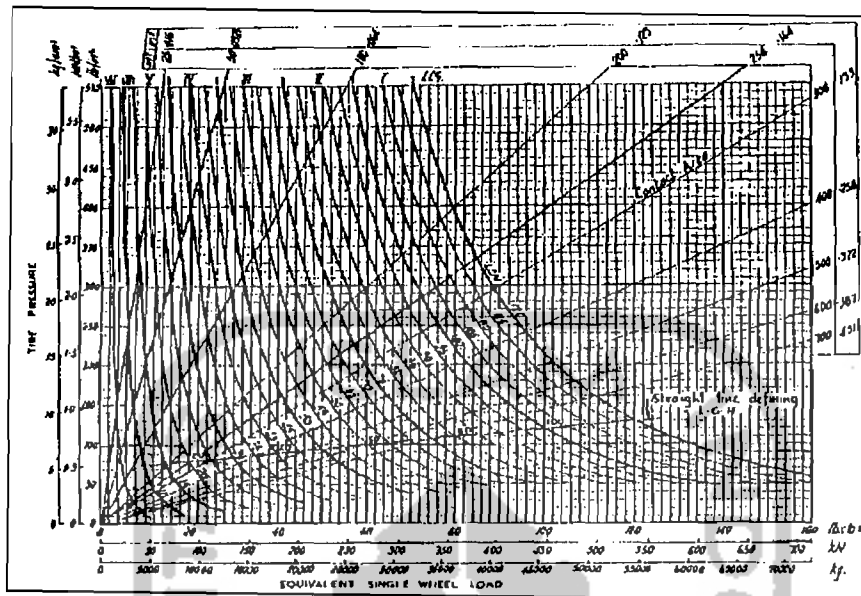
2. Satu titik pada setiap garis LCN langsung berasal dari kurva penggolongan beban standard.
3. Titik - titik lain pada setiap garis, dihitung berdasarkan persamaan 3.8, yaitu berdasarkan hasil *Bearing plates test*, yang berdasarkan pada kurva hubungan beban kegagalan dengan bidang kontak pada lapis keras lentur dan kaku.
4. Garis titik - titik merupakan penerusan sistem LCN secara coba - coba untuk menampung bidang - bidang kontak yang lebih dari 200 in² berdasarkan pengujian beban pada perkerasan dengan bidang kontak yang kecil.



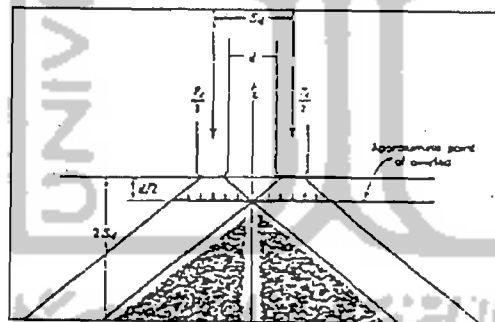
Gambar 3.14 Kurva hubungan bidang kontak - beban kegagalan
 Sumber : R. Horrendous & F.X. McKelvey



Gambar 3.15 LCN pada batas beban, tekanan ban dan bidang kontak
 Sumber : R. Horonjeff & F.X. McKelvey



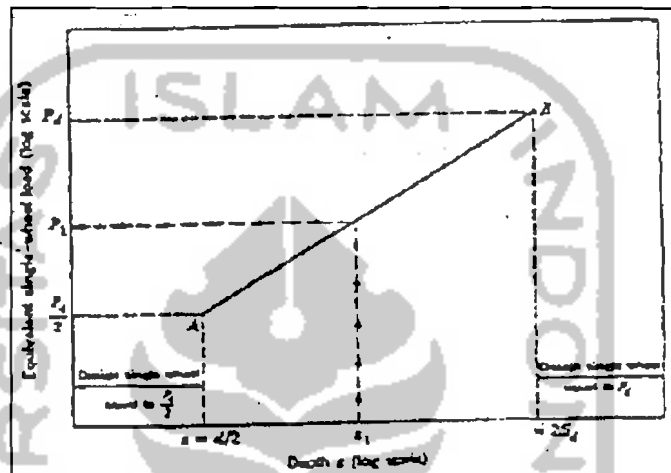
Gambar 3.16 Nilai LCN yang dinyatakan dengan ESWL, tekanan ban dan bidang kontak
 Sumber : M. Sargious, 1975



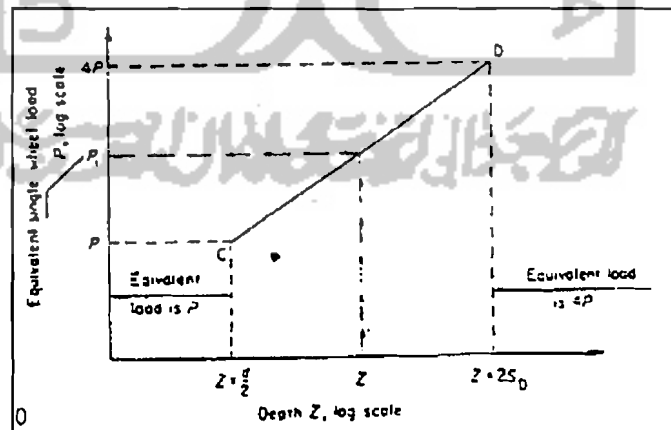
Gambar 3.17 Distribusi beban, dual wheel pada lapis keras lentur
 Sumber : E.J. Yorder & M.W. Witzak, 1975

Gambar 3.15 hanya berlaku untuk pesawat dengan beban roda tunggal, sehingga untuk pesawat dengan tipe roda ganda terlebih dahulu dikonversikan kedalam beban roda - tunggal ekuivalen (ESWL). Pada gambar 3.16

menunjukkan hubungan jarak antar roda pendaratan utama dan kedalaman yang diakibatkan oleh tekanan roda.



Gambar 3.18 Analisis ESWL untuk pesawat *Dual Wheel*
Sumber : E.J. Yorder & M.W. Witzak, 1975



Gambar 3.19 Analisis ESWL untuk pesawat *Dual Tandem*
Sumber : M. Sargious, 1975

Gambar 3.18 merupakan grafik skala logaritma, terlihat bahwa hubungan ESWL dan kedalaman (Z) pada kedalaman $d/2$ sampai dengan $2S_d$ berupa garis lurus. Analisis dari gambar tersebut, bahwa :

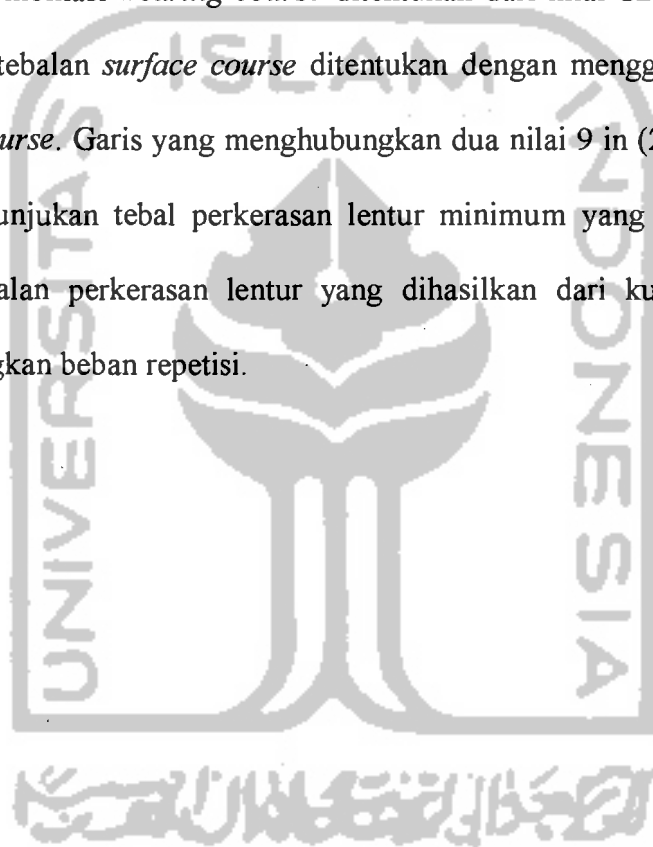
- a. Titik A adalah tekanan akibat beban roda tunggal yang terjadi sampai pada kedalaman $d/2$.
- b. Titik B adalah tekanan akibat beban roda ganda yang terjadi sampai pada kedalaman $2S_d$.
- c. Garis AB adalah beban roda tunggal ekuivalen, kedalaman Z_1 akibat beban roda tunggal ekuivalen diasumsikan antara $d/2$ sampai $2S_d$. Dengan menarik garis vertikal dari sumbu kedalaman (*depth* Z_1) dan diplotkan ke garis AB, kemudian ditarik garis horisontal maka akan didapat nilai beban roda tunggal ekuivalen atau ESWL (P_1).

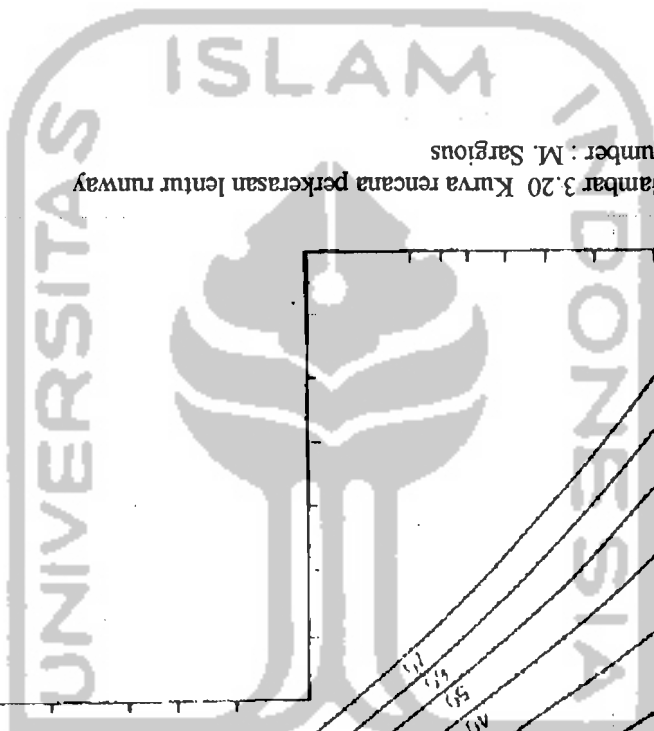
Untuk pesawat dengan konfigurasi roda pendaratan utama *Dual Tandem* penentuan ESWL ditunjukkan pada gambar 3.19. Analisis ESWL pada gambar tersebut, untuk beban roda ganda (*Dual Tandem*) sama prosedurnya dengan analisis beban roda tunggal. Hanya dibedakan oleh jarak diagonal S_D sebagai pengganti S_d .

Perancangan perkerasan lentur dengan metode LCN juga didasarkan pada nilai CBR dari tiap lapisan perkerasan. Kurva perancangan pada gambar 3.20 dihasilkan oleh sistem LCN yang diterapkan untuk CBR standard *US Corps*



Engineers, pada pemakaian tekanan roda sebesar 100 psi. Selanjutnya sistem LCN mengenalkan penggunaan kurva untuk beberapa kombinasi beban dan tekanan roda. Total ketebalan perkerasan lentur yang didapat dari kurva rencana (pada gambar 3.20) ditentukan dari nilai CBR untuk lapisan *subgrade*. Ketebalan *base course* dan kombinasi *wearing course* ditentukan dari nilai *CBR subbase course*, sedangkan ketebalan *surface course* ditentukan dengan menggunakan nilai CBR untuk *base course*. Garis yang menghubungkan dua nilai 9 in (23 cm) dan 10,5 in (27 cm) menunjukkan tebal perkerasan lentur minimum yang diijinkan. Sebagai catatan ketebalan perkerasan lentur yang dihasilkan dari kurva rencana telah memperhitungkan beban repetisi.





Gambar 3.20 Kurva rencana perkerasan lentur runway
 Sumber : M. Sargious

