

BAB V

PERANCANGAN

5.1 Metode CBR (*California bearing ratio*)

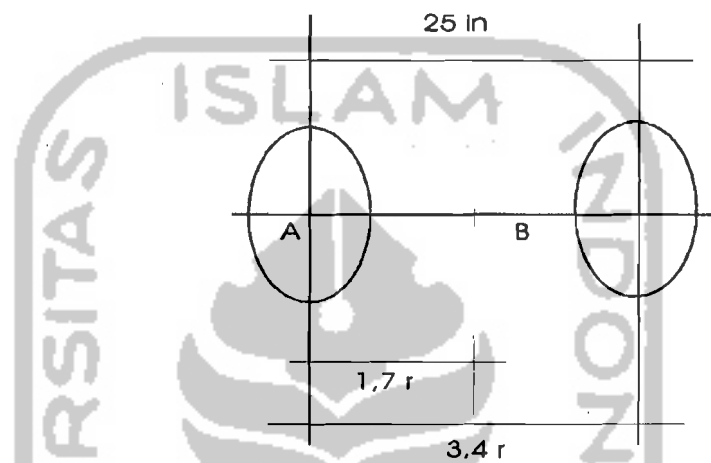
a) Direncanakan pesawat DC-9-32 sebagai pesawat rencana dengan spesifikasi sebagai berikut :

1. Tipe konfigurasi roda = *dual wheel*
2. *Maximum Take - Off Weight* (MTOW) = 109.000 lbs
3. Beban satu roda utama (Pk) = 25.887,5 lbs
4. Tekanan roda (*pk*) = 152 psi
5. Luas bidang kontak (A) = $\frac{Pk}{pk}$ = 170,3 in²
6. Jari - jari bidang kontak (*r*) = $\sqrt{\frac{A}{\pi}}$ = 7,36 in
7. Jarak antara poros roda utama = 25 in

b) Menentukan ESWL maksimum

1. Kedalaman (Z) akibat beban roda diasumsikan berdasarkan CBR tanah dasar dan beban satu roda dengan menggunakan gambar 3.3. Untuk menyesuaikan pada pembacaan kurva pada gambar 3.4, kedalaman yang diasumsikan dan jarak antar sumbu roda

dinyatakan dalam radius bidang kontak roda (r). Dari gambar 3.3 dengan nilai CBR tanah dasar 3% dan beban satu roda 25.887,5 lbs dapat diasumsikan kedalaman yang dihasilkan sebesar 31 inci ($4,2 r$).



Gambar 5.1 konfigurasi *dual wheel*

2. Menentukan letak difleksi maksimum yang akan terjadi pada kedalaman yang diasumsikan 31 in ($4,2 r$) yaitu dengan menyelidiki 2 titik yang ditempatkan pada susunan roda pendaratan utama seperti terlihat pada gambar 5.1. Titik A terletak dibawah salah satu roda dan titik B terletak ditengah – tengah jarak antara sumbu yang panjangnya 25 in (karena dinyatakan dalam r sehingga jarak antara sumbu roda sama dengan $3,4 r$).

3. Ditentukan faktor - faktor difleksi untuk beban roda tunggal dan susunan beban roda ganda pada kedalaman $4,2 r$ berdasarkan gambar 3.4. Untuk mempermudah dalam menjelaskan prosedur ini, maka diuraikan cara mendapatkan nilai faktor defleksi yang menggunakan gambar 3.4.

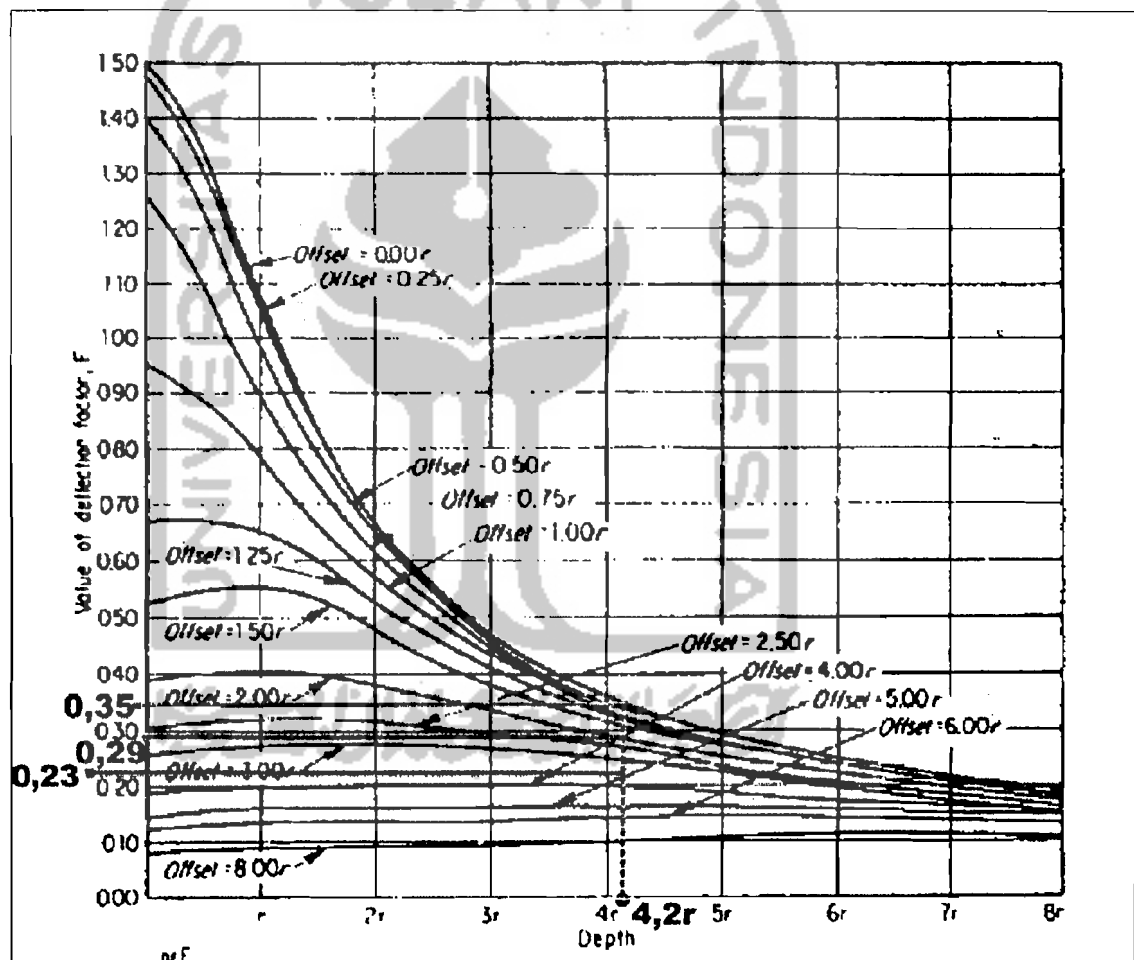
Diketahui kedalaman (*depth*) akibat beban roda yang diasumsikan sebesar $4,2r$, yang mana kedalaman dinyatakan sebagai absis dalam pembacaan kurva pada gambar 3.4.

Ditinjau lokasi yang terpengaruh pembebanan, berada tepat dibawah sumbu beban pada titik A (lihat gambar 5.1) yang menunjukkan nilai pengimbang (*offset*) sama dengan $0,00r$. Dari absis sebesar $4,2r$ ditarik garis vertikal sehingga memotong garis pengimbang $0,00r$ dan dari titik potong tersebut dibuat garis horisontal memotong garis ordinat, garis ordinat ini menyatakan nilai faktor difleksi. Maka dari titik potong pada ordinat tersebut didapat nilai faktor difleksi $0,35$.

Dengan cara yang sama dan kedalaman (*depth*) yang diasumsikan sama ($4,2r$), ditinjau juga lokasi dengan radius $3,4r$ dari titik tinjauan A (lihat gambar 5.1) maka akan didapat nilai faktor difleksi sebesar $0,23$. Untuk mendapatkan nilai difleksi pada titik

tinjauan B, langkah – langkah yang digunakan adalah sama dengan langkah penentuan pada titik tinjauan A seperti diatas.

Selanjutnya hasil penentuan faktor – faktor difleksi diperlihatkan pada tabel 5.1



Gambar 5.2 Penentuan faktor defleksi pada titik tinjauan A dan B

Tabel 5.1 Faktor difleksi akibat beban roda pada titik A dan B

No	Kedalaman	Offset A (Radius yang ditinjau dari titik A)	Offset B (Radius yang ditinjau dari titik B)	Faktor difleksi untuk susunan roda ganda	
				A	B
1	4,2r	0,00r	1,7r	0,35	0,29
2	4,2r	3,4r	1,7r	0,23	0,29
total				0,58	0,58

Dari tabel 5.1 dapat dijelaskan bahwa untuk roda tunggal faktor difleksi maksimum pada kedalaman 4,2r yaitu 0,35, terletak tepat di bawah sumbu beban. Sedangkan faktor difleksi maksimum pada susunan roda ganda adalah 0,58.

4. Dari faktor difleksi maksimum ditetapkan ratio faktor difleksi untuk susunan roda ganda terhadap faktor difleksi roda tunggal (lihat persamaan 3.2) dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\frac{0,58}{0,35} = 1,66$$

Kemudian nilai ratio difleksi (1,66) di bagi dengan jumlah roda pada susunan roda pesawat (dalam hal ini jumlah roda dalam susunan adalah 2 roda).

$$\frac{1,66}{2} = 0,83$$

Tabel 5.2 Ratio faktor – faktor difleksi

Kedalaman (in)	Faktor difleksi roda tunggal	Faktor difleksi roda ganda	Ratio beban	
			Tunggal terhadap satu roda dalam susunan	Terhadap keseluruhan susunan roda
(4,2r)	0,35	0,58	1,66	0.83

5. Dihitung ESWL yaitu mengalikan ratio beban tunggal terhadap satu roda dalam susunan dengan beban satu roda (Pk) atau mengalikan ratio faktor difleksi antara roda ganda terhadap roda tunggal (F_d/F_s) dengan beban yang didukung oleh susunan roda pada satu *gear* (dua roda).

Hitungan ESWL tersebut seperti dibawah ini :

$$ESWL = 1,66 \times 25.887,5 = 42.973 \text{ lbs}$$

Atau

$$ESWL = 0,83 \times 51.775 = 42.973 \text{ lbs}$$

- c) Menentukan jumlah gerakan pesawat rencana dan campuran, serta menentukan faktor perulangan beban (α_1). Untuk menentukan jumlah pergerakan pesawat campuran perlu di gunakan faktor konversi terhadap pesawat rencana.

$$\text{Faktor konversi pergerakan } F = (\sigma_j/\sigma_s)^4.$$

σ_s merupakan tegangan akibat dari kendaraan standard yang dapat dinyatakan dengan tekanan ban roda pesawat. Sedangkan σ_j merupakan tekanan ban dari roda pesawat campuran. Selanjutnya faktor konversi (F) masing – masing pesawat dikalikan dengan jumlah gerakan pesawat, akan menghasilkan pergerakan relatif pesawat. Jumlah total pergerakan relatif pesawat sebagai dasar untuk menentukan faktor perulangan beban (α) dengan menggunakan gambar 3.5.

Kemudian hasil perhitungan pergerakan relatif pesawat dibuat tabel 5.3 sebagai berikut :

Tabel 5-3 Penentuan gerakan relatif pesawat untuk perancangan

<i>Aircraft</i>	<i>Tire pressure</i>	Gerakan	$F = (\sigma_j / \sigma_s)^4$	Pergerakan relatif
DC-9-32	152	25	5,78	145
F-28	98	6.982	1	6.982
F-27	77	2.250	0,38	855
F-50	98	70	1	70
HS-748	84	1.631	0,54	881
VC-8	98	20	1	20
DC-3	45	104	0,05	5
C-130	170	269	9,05	2.436
CN-212	45	9.164	0,05	458
Total		20.515		11.852

Jumlah gerakan pesawat keseluruhan 11.852 gerakan. Dari gambar 3.5 dengan jumlah roda pendaratan pesawat DC – 9 – 32 yang digunakan 4 buah roda didapat faktor pengulangan beban (α) = 0,76

d) Dihitung tebal masing – masing lapisan perkerasan sesuai dengan nilai CBR dan digunakan rumus 3.5.

1. Tebal total lapis keras lentur dengan CBR *subgrade* = 3% dan nilai ESWL 42.973 lbs.

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

$$t = 31,88 \text{ in} \sim 32 \text{ in}$$

2. Tebal lapisan diatas *subbase course* dengan CBR *subbase* 20% dan ESWL 42.973 lbs.

$$t = 11,2 \text{ in} \sim 12 \text{ in}$$

Maka *tebal base course* dan *surface course* didapat 12 in.

3. Tebal lapisan diatas base course dengan CBR base 80 % dan nilai ESWL 42.973 lbs.

$$t = 2,7 \text{ in} \sim 3 \text{ in}$$

$$\text{Maka tebal base course} = 12 - 3 = 9 \text{ in}$$

Untuk tebal *surface course* 3 in perlu dicek lagi dengan ketebalan minimum yang ditentukan.

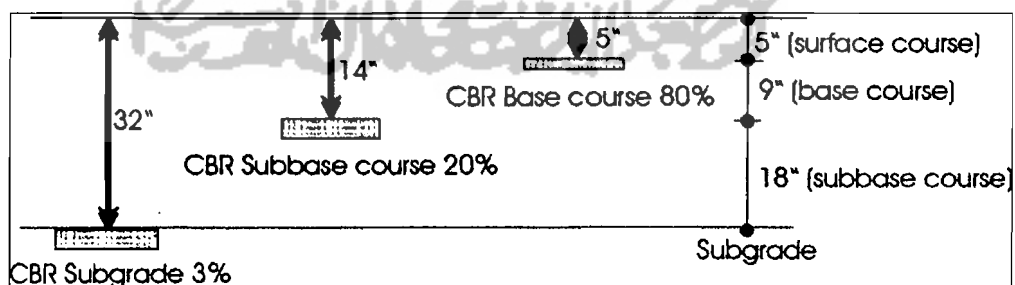
e) Dikontrol ketebalan minimum lapisan perkerasan permukaan (*surface course*) dan pondasi atas (*base course*) dengan menggunakan tabel 3.4. Dari tabel tersebut dengan nilai CBR *base course* 80% dan daerah lalu lintas *rencana* (*design traffic area*) tipe A, didapat ketebalan minimum *base course* 6 in dan ketebalan *surface course* minimum 5 in.

f) Hasil akhir ketebalan masing – masing lapisan keras lentur sebagai berikut :

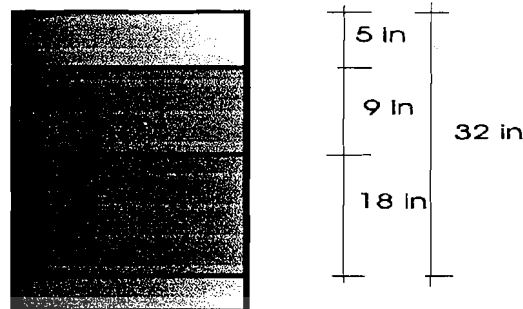
1. tebal *surface course* = 5 in
2. Tebal *base course* = 9 in
3. Tebal total perkerasan = 32 in
4. Tebal *subbase course* = $32 - 5 - 9 = 18$ in

Perlu dicek lagi tebal perkerasan setelah dikontrol jumlah ketebalan minimum *surface course* dan *base course*.

Tebal *surface course* (5") + tebal *base course* (9") = 14 " (> 12" maka kontrol ketebalan minimum yang dilakukan adalah aman)



Gambar 5.3 Tebal lapisan sesuai nilai CBR yang didapat dengan metode CBR



Gambar 5.4 Konstruksi lapis keras lentur dengan metode CBR

5.2 Metode FAA (*Federal Aviation Administration*)

a) Daftar lalu Lintas Udara yang Diramalkan

Jumlah keberangkatan pesawat dianggap setengah dari jumlah gerakan pesawat. Pemilihan pesawat rancangan berdasarkan pada beban pesawat yang membutuhkan ketebalan perkerasan yang paling besar dan tidak perlu harus pesawat yang paling berat yang akan beroperasi di bandar udara.

Tabel 5. 4 Data lalu lintas udara yang diramal

Jenis <i>Aircraft</i>	Tipe <i>gear</i>	Keberangkatan tahunan ramalan	MTOW (lbs)
DC-9-32	Dual	25	109.000
F - 28	Dual	3.491	72.994
F - 27	Dual	1.125	44.996
F - 50	Dual	35	72.994
HS - 748	Dual	816	46.500
VC - 8	Dual	10	64.506
DC - 3	Dual	52	26.896
C - 130	Dual Tandem	135	130.004
CN - 212	Single	4.582	14.330

- b) Menghitung nilai keberangkatan tahunan ekuivalen (EAD) pesawat berdasarkan tipe konfigurasi roda pendaratan pesawat rencana. Tipe roda pendaratan utama pesawat campuran yang berbeda terlebih dahulu dikonversikan ke tipe roda pesawat rencana dengan menggunakan tabel 3.4. Pesawat F -28 dijadikan pesawat acuan dalam perencanaan.

Tabel 5.5 Hasil ramalan keberangkatan tahunan pesawat yang telah dikonversi

Jenis Aircraft	Tipe gear	Keberangkatan tahunan ramalan	Keberangkatan dual gear R_2
DC-9-32	Dual	25	25
F - 28	Dual	3.491	3.491
F - 27	Dual	1.125	1.125
F - 50	Dual	35	35
HS - 748	Dual	816	816
VC - 8	Dual	10	10
DC - 3	Dual	52	52
C - 130	Dual Tandem	135	230
CN -212	Single	4.582	3.666

- c) Menentukan beban roda pesawat rencana (W_1) dan beban roda pesawat campuran (W_2).

a. $W_1 = 95 \% \times \text{MTOW pesawat rencana} \times 1/N \times 1/M$

$$b. W_2 = 95 \% \times \text{MTOW pesawat campuran} \times 1/N \times 1/M$$

Dengan :

MTOW = *Maximum Take Off Weight*

N = Jumlah roda pendaratan utama pada masing - masing gear

M = jumlah gigik (*gear*) pendaratan utama

Dan menentukan keberangkatan tahunan ekivalen (EAD) pesawat rencana

(R₁) dengan menggunakan rumus 3.6.

$$\text{Log R}_1 = \text{Log R}_2 \left[\frac{W_2}{W_1} \right]^{0,5}$$

Dengan :

R₁ = *Equivalent Annual Departures* pesawat rencana

R₂ = *Annual Departures* pesawat campuran

Tabel 5.6 Hasil penentuan beban roda pesawat rencana dan campuran

Jenis Aircraft	Keberangkatan dual gear	Beban roda (lbs)	Beban roda rancangan pesawat (lbs)	Keberangkatan tahunan ekivalen pada rancangan pesawat
	R ₂	W ₂	W ₁	R ₁
DC-9-32	25	25.888	17.336	51
F - 28	3.491	17.336	17.336	3.491
F - 27	1.125	10.687	17.336	249
F - 50	35	17.336	17.336	35
HS - 748	816	11.044	17.336	211
VC - 8	10	15.320	17.336	9
DC - 3	52	6.386	17.336	11
C - 130	230	15.438	17.336	169
Ligh	3.666	6.810	17.336	171
total				4.397

d) Menentukan tebal lapis penyusun perkerasan dari kurva rencana lapis keras lentur (pada lampiran 8) untuk daerah kritis. Pesawat rancangan dengan MTOW 72.994 lbs, tipe dual wheel dan *Equivalent Annual Departures* = 4.397.

1. Tebal total lapis keras lentur dengan CBR *subgrade* 3% diperoleh tebal 35 in. Sedangkan untuk daerah non kritis tebal perkerasan lentur didapat $35 \times 0,9 = 31,5$ in

2. Tebal lapisan diatas *subbase* dengan CBR *subbase* 20 % didapat ketebalan *base course* dan *surface course* 9 in.

3. Tebal *surface course* minimum = 4 in untuk daerah kritis.

Sedangkan tebal *surface course* minimum untuk daerah non kritis 3 in.

Maka tebal *base course* untuk daerah kritis : $9 - 4 = 5$ in

Ketebalan *base course* minimum di kontrol lagi dengan menggunakan kurva rancangan pada lampiran 10. Karena CBR

subgrade yang ada hanya 3% tidak terdapat terdapat dalam kurva rancangan maka digunakan pendekatan dengan memakai CBR

subgrade 4% dan tebal total perkerasan lentur yang ada 35 in

maka didapat ketebalan *base course* minimum 8 in untuk daerah kritis dan 7 in untuk daerah non kritis.

4. Ketebalan *subbase* di hitung dengan :

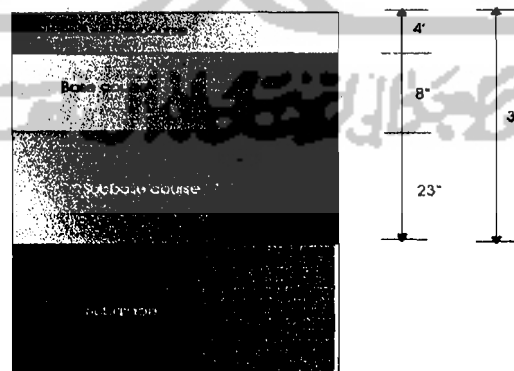
$$35 - 4 - 8 = 23 \text{ in untuk daerah kritis}$$

$$31,5 - 3 - 7 = 21,5 \text{ in untuk daerah non kritis}$$

Hasil akhir perhitungan ketebalan masing – masing lapisan perkerasan lentur dengan metode FAA yang didapat :

Tabel 5-7 hasil perhitungan tebal lapis keras lentur dengan metode FAA

Lapisan	Syarat ketebalan (in)	
	Daerah kritis	Daerah non kritis
<i>Surface course</i>	4	3
<i>Base course</i>	8	7
<i>Subbase course</i>	23	21,5
Total perkerasan	35	31,5



Gambar 5.5 konstruksi lapis keras lentur pada daerah kritis dengan metode FAA

5.3 Metode LCN (*Load Classification Number*)

5.3.1 Karakteristik Pesawat Terbang Rencana

Digunakan data - data karakteristik pesawat terbang, sebagai berikut :

- a) Jenis pesawat rencana = DC - 9 - 32
- b) Konfigurasi roda pesawat rencana = *dual wheel*
- c) *Maksimum take off weight* (MTOW) = 109.000 lbs
- d) Tekanan roda = 152 psi
- e) Beban pada *nose gears* = 7,6 %
- f) Distribusi beban pada *main gear* = 2 x 46,2 %
- g) Jarak roda dari sumbu ke sumbu (S_d) = 25 in

5.3.2 Menentukan Nilai Ekuivalent Single Wheel Load (ESWL) Pesawat

- a) Beban pada susunan *main gear*

$$P_d = \text{distribusi } \textit{main gear} (\%) \times \text{MTOW}$$

$$= 46,2 \% \times 109.000$$

$$= 50.358 \text{ lbs (22.842 kg)}$$

Beban satu roda pada susunan *main gear* :

$$= \frac{P_d}{2} = 25.179 \text{ lbs (11.421 kg)}$$

$$b) \text{ Luas bidang kontak (A)} = \frac{\text{Beban roda}}{\text{Tekanan ban}}$$

$$\text{Luas bidang beban satu roda (A}_c) = \frac{25.179}{152} = 166 \text{ in}^2$$

$$c) \text{ Radius bidang kontak (r)} = \sqrt{\frac{A_c}{\pi}}$$

$$= 7,3 \text{ in}$$

$$d) \text{ Jarak roda ke roda bagian dalam (d)} = S_d - 2r$$

$$= 25 - (2 \times 7.3)$$

$$(d) = 10,4 \text{ in}$$

- e) Menentukan nilai beban roda tunggal ekuivalen (ESWL) digunakan kurva rencana pada gambar 3.18 yang telah diplotkan pada gambar 5.4. Kedalaman akibat roda tunggal ekuivalen diasumsikan terletak antara $d/2$ (5,2 in) sampai $2S_d$ (50 in) dan dinyatakan sebagai absis. ESWL terletak antara beban satu roda pada susunan *main gear* (11.421 kg ~ 25.179 lbs) sampai dengan beban pada susunan *main gear* (22.842 kg ~ 50.358 lbs).

Nilai kedalaman akibat beban roda tunggal ekuivalen yang dipakai adalah $Z_1 = 63,5 \text{ cm}$, yang merupakan nilai tengah dari $2S_d$ (127 cm) dan diplotkan ke gambar 5.4.

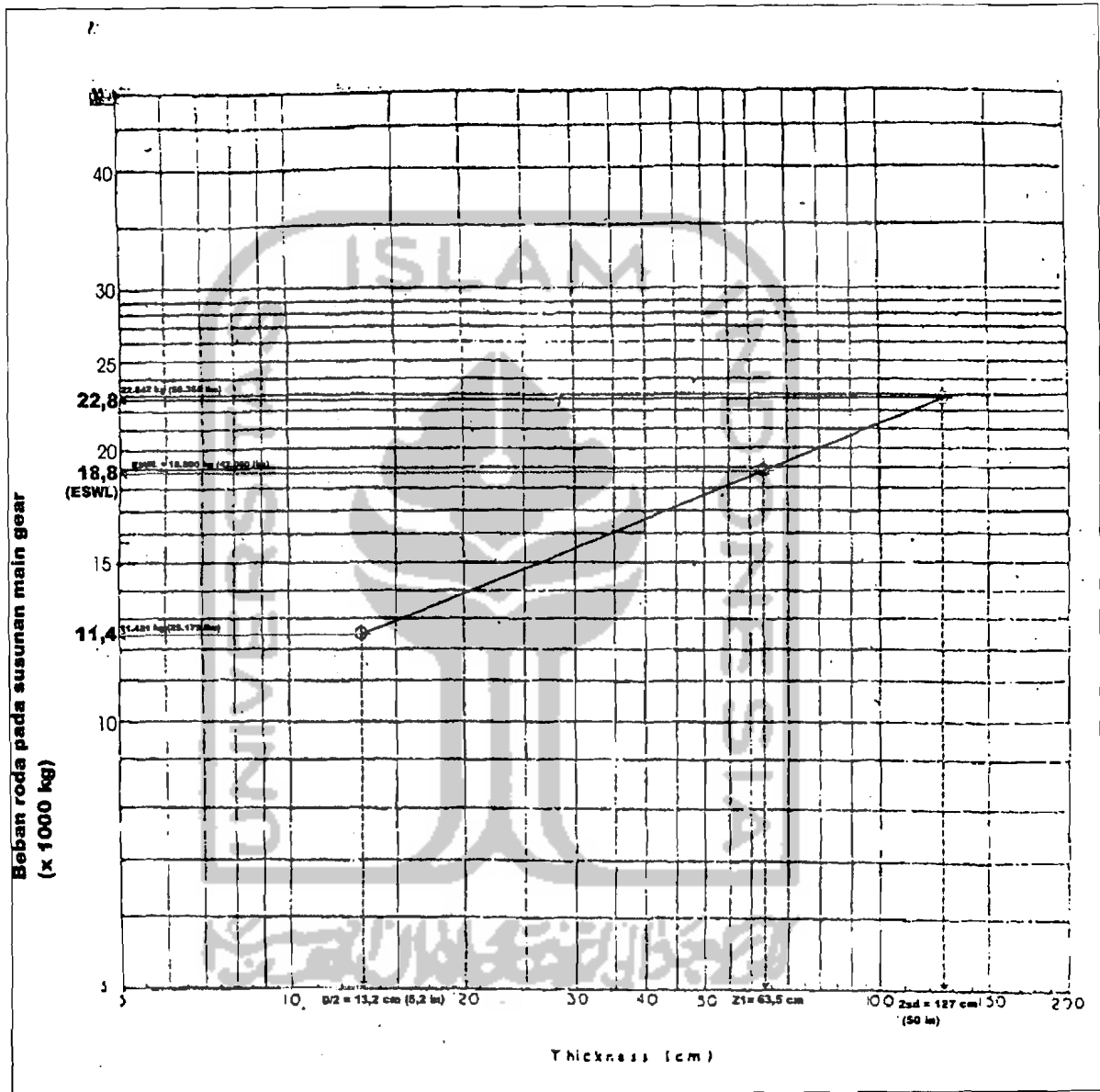
Dari absis (kedalaman $Z_1 = 63,5$ cm) ditarik garis vertikal dan diplotkan ke garis AB, kemudian ditarik garis horisontal maka akan didapatkan nilai beban satu roda ekuivalen (ESWL) = 18.800 kg (42.000 lbs).

5. 3.3 Menentukan Nilai LCN pesawat

Untuk menentukan nilai LCN pesawat adalah dengan memasukan nilai ESWL dan nilai tekanan roda yang sudah diketahui kedalam gambar 3.16. Untuk pesawat DC - 9 - 32 dengan nilai ESWL 42.000 lbs (18.800 kg) dan tekanan roda 152 psi (10,687 kg/cm²) dari gambar 3.16 terbaca nilai LCN pesawat sebesar 50.

Nilai LCN pesawat juga bisa ditentukan dengan menggunakan rumus yang dikembangkan oleh *Boeing pavement evaluation*, 1976, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{LCN pesawat} &= (1,14345 \times 10^{-3} \times \text{ESWL} \times T_p^{0,78895})^{0,820450} \\ &= (1,14345 \times 10^{-3} \times 18.800 \times 10,687^{0,78895})^{0,82045} \\ &= 50,37 \sim 50 \text{ (LCN pesawat dengan grafik)} \end{aligned}$$



Gambar 5.4 Kurva rencana perhitungan ESWL pesawat
 Sumber : Departemen Perhubungan Udara Kalimantan Barat

5.3.4 Menentukan Tebal Lapis Keras

Dari nilai LCN pesawat sebesar 50 di masukan ke kurva perencanaan lapis keras lentur landas pacu metode LCN dengan menggunakan gambar 3.20. Penentuan masing – masing tebal perkerasan juga menggunakan nilai CBR setiap lapisan.

- a) Penentuan tebal total perkerasan dengan menggunakan nilai CBR *subgrade* 3% .

Didapat tebal total (H_t) = 98 cm ~39 in

- b) Penentuan tebal lapis keras diatas *subbase course* dengan nilai CBR *subbase* 20% dan nilai LCN 50.

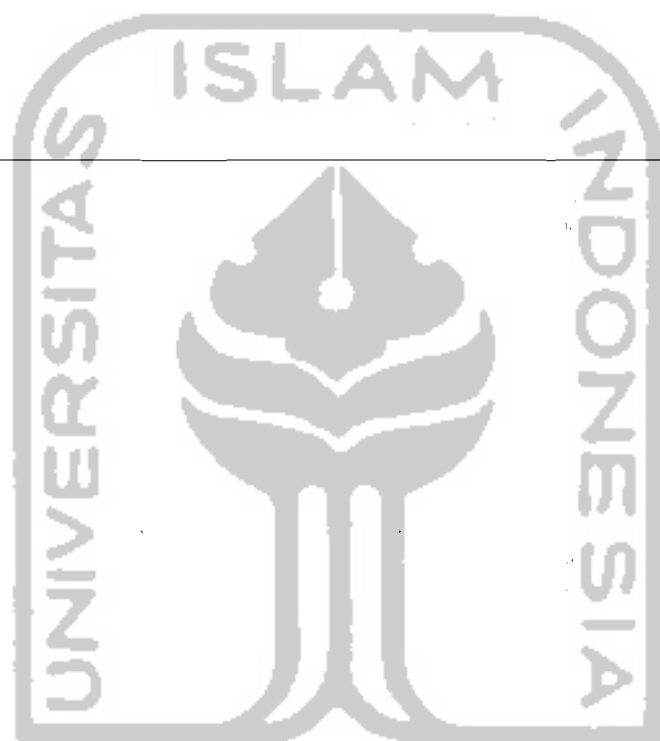
Didapat tebal *base course* (H_1) dan *surface course* (H_2) = 29 cm ~ 12 in

- c) Tebal *subbase course* (H_3) = $98 - 29 = 69$ cm ~ 27 in

- d) Tebal lapis keras diatas *base course* dengan nilai CBR *base course* 80% dan nilai LCN 50.

Didapat tebal *surface course* 10 cm ~ 4 in

Maka tebal *base course* (H_2) = $29 - 10 = 19$ cm ~ 8 in



Gambar 5.7 konstruksi lapis keras lentur dengan metode LCN

