



Penentuan Tebal Perkerasan Lentur Berdasarkan Nilai CBR (*California Bearing Ratio*) dan ESWL (*Equivalent Single Wheel Load*) Pesawat Rencana Pada Perencanaan Pembangunan Bandar Udara Baru di Karawang

Flexible Pavement Thickness Determination Based on California Bearing Ratio (CBR) and Equivalent Single Wheel Load (ESWL) of Aircraft in New Airport Development Planning in Karawang

Ataline Muliasari dan Lukiana

Pusat Litbang Perhubungan Udara

e-mail : alinesuhartoyo@gmail.com¹⁾, lukiana.herman@gmail.com²⁾

INFO ARTIKEL

Histori Artikel :

Diterima : 12 Agustus 2013

Disetujui : 18 September 2013

Keywords:

California Bearing Ratio (CBR), Equivalent Single Wheel Load (ESWL), Flexible Pavement, Maximum Landing Gear Weight.

Kata kunci:

California Bearing Ratio (CBR), Equivalent Single Wheel Load (ESWL), Flexible Pavement, Maximum Landing Gear Weight.

ABSTRACT / ABSTRAK

Construction of a new airport in Karawang until now has not been located. However, to simplify the process of land acquisition, the airport might be located in the coastal area so it does not interfere agricultural land and forestry. This study intends to support the construction of a new airport in Karawang which aims at adjusting procedure of California Bearing Ratio (CBR) in the cilamaya area to pavement thickness on the airport planning development. The study concluded that the minimum thickness of pavement layers in Karawang new airport is 118 cm. The construction carried out in accordance with the value of CBR in the cilamaya area and consider the value of ESWL (Equivalent Single Wheel Load) Boeing 737-900 ER.

Rencana pembangunan bandar udara baru Karawang yang banyak mendapatkan dukungan pengguna jasa penerbangan, hingga saat ini belum ditentukan lokasinya. Tetapi, untuk mempermudah proses pembebasan lahan, dimungkinkan pembangunan bandar udara ini akan dilaksanakan di area pantai agar tidak mengganggu lahan pertanian dan Perhutani. Penelitian ini bermaksud untuk mendukung pembangunan bandar udara baru di Karawang, yang bertujuan menyesuaikan prosedur CBR (*California Bearing Ratio*) di area Cilamaya terhadap perkerasan pada perencanaan pembangunan bandar udara baru di Karawang. Hasil penelitian menyimpulkan bahwa tebal lapisan perkerasan minimum bandar udara baru di Karawang adalah 118 cm, pembangunan dilaksanakan di area Cilamaya sesuai dengan nilai CBR (*California Bearing Ratio*), dan memperhatikan nilai ESWL (*Equivalent Single Wheel Load*) pesawat Boeing 737-900 ER adalah 118 cm.

PENDAHULUAN

Rencana pembangunan Bandar Udara Baru di Karawang sebagai konsep multi airport untuk mendukung peningkatan jumlah pergerakan penumpang dan pesawat di Bandar udara Soekarno Hatta telah ramai dibicarakan. Untuk mendukung rencana tersebut, Kementerian Perhubungan telah melakukan studi analisa mengenai dampak lingkungan (Amdal) bandar udara Karawang, Jawa Barat, yang dilaksanakan oleh *Japan International Cooperation Agency* (JICA) pada tahun 2012.

Bandar udara yang direncanakan berkapasitas sekitar 100 (seratus) juta penumpang pertahun ini dibangun dengan menggunakan mekanisme "*public private partnership*". Sebagai langkah awal, akan dilakukan pembangunan satu runway dan satu terminal di bandar udara ini. Setelah beroperasi, akan dilakukan studi terhadap *demand* dari masyarakat terhadap keberadaan bandar udara tersebut. Untuk mendukung pengoperasian bandar udara baru tersebut, Kementerian Perhubungan berencana membangun fasilitas kereta api dan jalan tol sebagai infrastruktur pendukung. Terkait dengan hal tersebut diatas, saat ini telah terdapat beberapa pihak yang mengajukan permohonan untuk melakukan *feasibility studi* baik dalam negeri maupun luar negeri seperti Jepang dan Singapura (tempo.co: Bisnis, 29 Agustus 2012).

Rencana pembangunan bandar udara baru Karawang yang banyak

mendapatkan dukungan pengguna jasa penerbangan, hingga saat ini belum ditentukan lokasinya. Tetapi, untuk mempermudah proses pembebasan lahan, dimungkinkan pembangunan bandar udara ini akan dilaksanakan di area pantai agar tidak mengganggu lahan pertanian dan perhutani. Pusat Penelitian dan Pengembangan Perhubungan Udara pada tahun 2012 telah melakukan penelitian pemilihan lokasi pembangunan bandar udara baru di Karawang dalam mewujudkan konsep multi airport. Pada penelitian tersebut, disarankan pembangunan bandar udara baru di Karawang dilaksanakan di area Cilamaya yang dekat pantai dengan melakukan pengumpulan data CBR (*California Bearing Ratio*) melalui Dinas Bina Marga dan Pengairan Pemerintah Pusat Kabupaten Karawang. Untuk mendukung hasil penelitian tersebut, maka perlu dilakukan pengkajian CBR (*California Bearing Ratio*) untuk perencanaan perkerasan lentur pada bandar udara baru di Karawang.

Saat ini terdapat beberapa metode perencanaan perkerasan bandar udara. Walaupun tidak terdapat suatu metode untuk perencanaan perkerasan lentur (*flexible*) maupun perkerasan kaku (*rigid*), terdapat satu metode untuk perencanaan perkerasan lentur yang dapat diterima oleh semua pihak, yaitu metode yang dikembangkan oleh *Corp Of Engineers* yang didasarkan pada pengujian CBR (*California Bearing Ratio*). Untuk perkerasan kaku (*rigid*), pemilihan ketebalan akan didasarkan

pada cara yang dikembangkan oleh Wastergaard.

Penelitian yang bermaksud untuk mendukung pembangunan bandar udara baru di Karawang ini, bertujuan menyesuaikan prosedur CBR (*California Bearing Ratio*) di area Cilamaya terhadap perkerasan pada perencanaan pembangunan bandar udara baru di Karawang.

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah berapa tebal lapisan perkerasan minimum bandar udara baru di Karawang bila pembangunan dilaksanakan di area Cilamaya sesuai dengan nilai CBR (*California Bearing Ratio*), dan memperhatikan nilai ESWL (*Equivalent Single Wheel Load*) dari pesawat Boeing 737-900 ER.

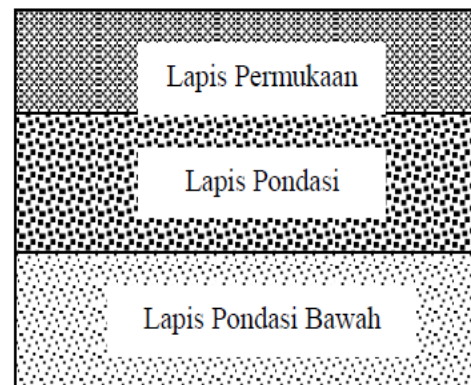
TINJAUAN PUSTAKA

CBR (*California Bearing Ratio*) adalah metode yang mengkombinasikan percobaan pembebanan penetrasi di laboratorium atau di lapangan dengan rencana empiris untuk menentukan tebal lapisan perkerasan. Metode ini awalnya diciptakan oleh O.J poter kemudian di kembangkan oleh *California State Highway Departement*, dan dimodifikasi oleh Corps insinyur-insinyur tentara Amerika Serikat (*U.S Army Corps of Engineers*).

Menurut Basuki A dan Syarif I (*Decision Tree*, 2003), nilai CBR (*California Bearing Ratio*), adalah nilai yang menyatakan kualitas tanah dasar dibandingkan dengan bahan standar berupa batu pecah yang mempunyai nilai CBR sebesar 100% dalam memikul beban lalu lintas. Nilai Daya Dukung

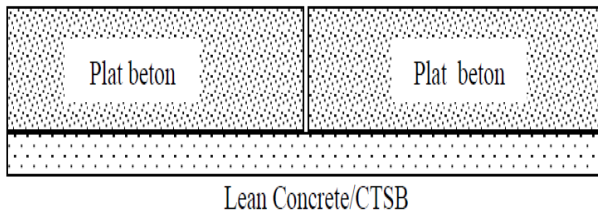
Tanah Dasar (DDT) pada proses perhitungan perencanaan tebal perkerasan lentur dengan metode analisa komponen.

Efendi ferry (*civil engineering*, 2011), menyatakan bahwa Perkerasan lentur (*flexible pavement*) merupakan lapisan perkerasan jalan yang menggunakan aspal sebagai pengikat dan berfungsi untuk menerima beban lalu-lintas dan menyebarkannya ke lapisan di bawahnya terus ke tanah dasar. Konstruksi perkerasan lentur terdiri dari lapisan-lapisan yang diletakkan diatas tanah dasar yang telah dipadatkan. Lapisan-lapisan tersebut berfungsi untuk menerima beban lalu lintas dan menyebarkannya ke lapisan di bawahnya.



Gambar 1. Perkerasan lentur/*flexible pavement*)

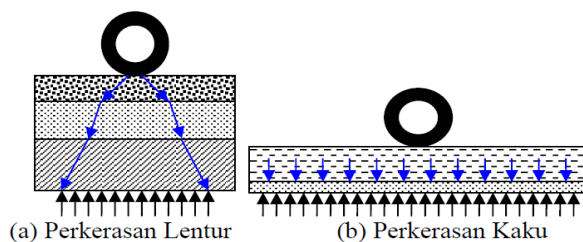
Efendi Ferry (*civil engineering*, 2011), juga menyampaikan bahwa perkerasan kaku (*rigid pavement*) adalah perkerasan yang menggunakan semen sebagai bahan pengikatnya, Pelat beton dengan atau tanpa tulangan diletakkan diatas tanah dasar dengan atau tanpa lapis pondasi bawah. Beban lalu lintas sebagian besar dipikul oleh pelat beton.



Gambar 2. Perkerasan kaku/*rigid pavement*)

Artha (2004), menyatakan bahwa terdapat perbedaan antara perkerasan lentur (*flexible pavement*) dan perkerasan kaku (*rigid pavement*) yaitu:

- Perkerasan kaku akan mengalami timbulnya retakan pada permukaan bila mengalami pembebanan yang lebih tinggi dari nilai pavementnya, dan perubahan temperature tidak akan merubah modulus kekakuan.
- Perkerasan lentur akan mengalami lendutan pada jalur roda (timbul *rutting*) bila mengalami pembebanan yang lebih tinggi dari nilai pavementnya, dan akibat adanya perubahan temperature menyebabkan perubahan modulus kekakuan.



Gambar 3. Skema pembagian beban pada perkerasan (*pavement*)

Lutfia (2011), menyatakan bahwa modulus elastisitas didefinisikan sebagai perbandingan antara tegangan, dengan regangan suatu bahan selama gaya yang bekerja tidak melampaui

batas elastisitasnya. Dalam SI satuan modulus elastisitas sama dengan satuan tegangan. Semakin besar nilai E , berarti semakin sulit untuk merentangkan benda, artinya dibutuhkan gaya yang lebih besar untuk merentangkan.

Tegangan geser merupakan tegangan yang bekerja sejajar atau menyinggung permukaan. Perjanjian tanda untuk tegangan geser sebagai berikut:

- Tegangan geser yang bekerja pada permukaan positif suatu elemen adalah positif apabila bekerja dalam arah positif dari salah satu sumbu-sumbu positif dan negatif apabila bekerja dalam arah negatif dari sumbu-sumbu.
- Tegangan geser yang bekerja pada permukaan negatif suatu elemen adalah positif apabila bekerja dalam arah negatif sumbu dan negatif apabila bekerja dalam arah positif.

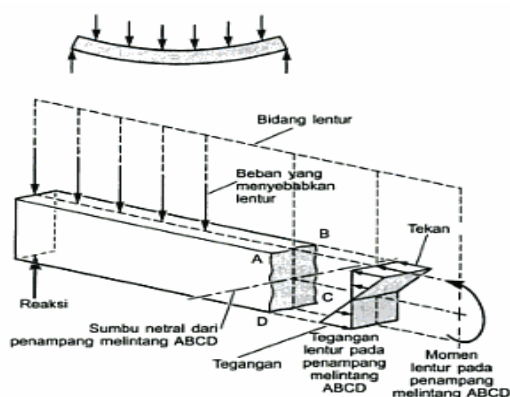
Azwaruddin (2008), menyatakan bahwa pondasi adalah suatu bagian dari konstruksi bangunan yang berfungsi untuk menempatkan bangunan dan meneruskan beban yang disalurkan dari struktur atas ke tanah dasar pondasi yang cukup kuat menahannya tanpa terjadinya "*differential settlement*" pada sistem strukturnya.

Mac Donald dan Angus J (2002), menyatakan bahwa tegangan dan regangan adalah konsep yang penting dalam peninjauan baik kekuatan maupun kekakuan. Keduanya merupakan konsekuensi yang tidak dapat dipisahkan dari bekerjanya suatu

beban terhadap suatu bahan struktur. Tegangan dapat dianggap sebagai sebuah energi yang menahan beban. Sementara itu, regangan adalah ukuran deformasi yang terjadi sebagai akibat dari tegangan.

Dalam suatu elemen struktur, tegangan adalah gaya dalam dibagi dengan luas penampang diaman gaya itu bekerja. Oleh karena itu, tegangan adalah gaya dalam per satuan luas penampang. Sebaliknya gaya dalam dapat dianggap sebagai efek bertumpuk dari tegangan.

Tegangan lentur terjadi pada suatu elemen jika gaya luar menyebabkan momen lentur bekerja di penampangnya. Besarnya tegangan lentur bervariasi dalam setiap penampang, dari tegangan maksimum tarik dan tekanan diserat ekstrim pada sisi yang berlawanan dari penampang, ke tegangan minimum di tengah (dititik berat) dimana tegangan berubah dari tekan ke tarik. Tegangan lentur juga bisa bervariasi diantara penampang akibat variasi momen lentur di sepanjang elemen.



Gambar 4. Distribusi tegangan lentur pada penampang melintang elemen akibat beban lentur.

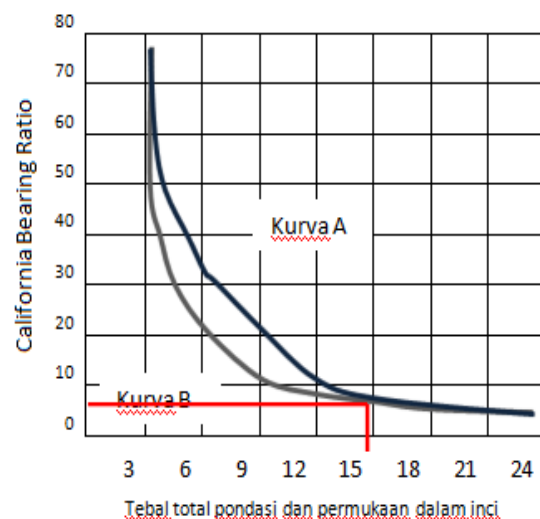
METODOLOGI

Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data dilakukan dengan metode wawancara, dan pengumpulan data CBR (*California Bearing Ratio*) pada Dinas Bina Marga dan Pengairan Pemerintah Pusat Kabupaten Karawang pada bulan Mei 2012.

Metode Analisis Pengolahan data dan analisis terhadap kesuaian antara nilai CBR (*California Bearing Ratio*) dengan Tebal Perkerasan

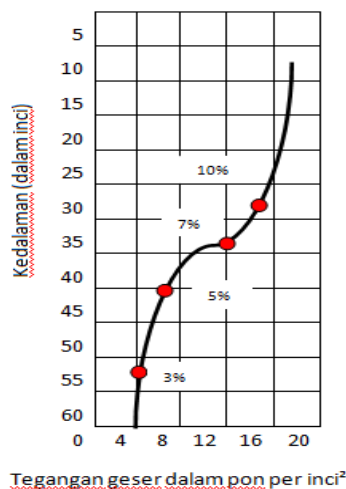
Pada tahun 1928 hingga tahun 1942, Departemen Jalan Raya California telah melakukan penelitian mengenai perkerasan, baik yang memadai, maupun yang tidak memadai. Penelitian tersebut menghasilkan hubungan empiris antara CBR dengan ketebalan struktur perkerasan seperti pada gambar berikut:



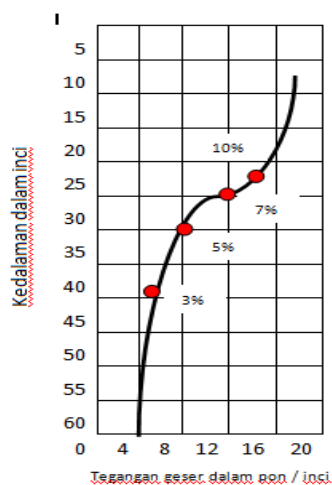
Gambar 5. Tebal total lapis pondasi dan lapis permukaan sehubungan dengan nilai-nilai CBR pon (sumber: *Corps of engineer*)

Dari gambar tersebut diatas terlihat bahwa kurva B menunjukkan tebal minimum dari struktur perkerasan untuk lalu lintas ringan, dan kurva A merupakan struktur untuk lalu lintas rata-rata untuk beban roda pesawat 12.000 pon.

Sementara itu, untuk ekstrapolasi tebal perkerasan dengan teori elastic bagi beban roda 40.000 pon dan 70.000 pon digambarkan sebagai berikut:



Gambar 6. Ekstrapolasi tebal perkerasan dengan teori elastic untuk beban roda 70.000 pon (sumber: *Corps of engineer*)



Gambar 7. Ekstrapolasi tebal perkerasan dengan teori elastic untuk

beban roda 40.000 pon
(sumber: *corps of engineer*)

Menentukan tebal rencana perkerasan lentur

Dalam menentukan tebal rencana perkerasan lentur perlu dilakukan analisis dari seluruh data yang tersedia untuk pengujian bagian dan prototype bandar udara yang menunjukkan bahwa criteria perencanaan CBR untuk beban roda dapat dinyatakan dalam parameter-parameter: tebal per akar pangkat dua dari bilangan kontak ($t/\sqrt{A}$) dan CBR per tekanan ban, yang memisahkan kegagalan untuk operasi operasi yang mendekati kapasitas (kurang lebih 5000 lintasan). Pernyataan matematis untuk hubungan itu adalah:

$$T = (8,71 \cdot \log R + 5,43) \sqrt{P \cdot \left(\frac{1}{8,1 \cdot CBR} - \frac{1}{450 \cdot S} \right)}$$

dimana:

- T= tebal perkerasan total (mm) di atas tanah dasar
- R= jumlah ESWL yang bekerja (beban berulang)
- S= tekanan roda (ban) dalam Mpa
- P= ESWL (kg)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian CBR (*California Bearing Ratio*)

Pada bagian ini data didapatkan dari Dinas Bina Marga dan Pengairan Pemerintah Pusat Kabupaten Karawang berupa data CBR (*California Bearing Ratio*) di area Celamaya berupa pengetesan terhadap 10 titik. Setiap segmen mempunyai satu nilai CBR

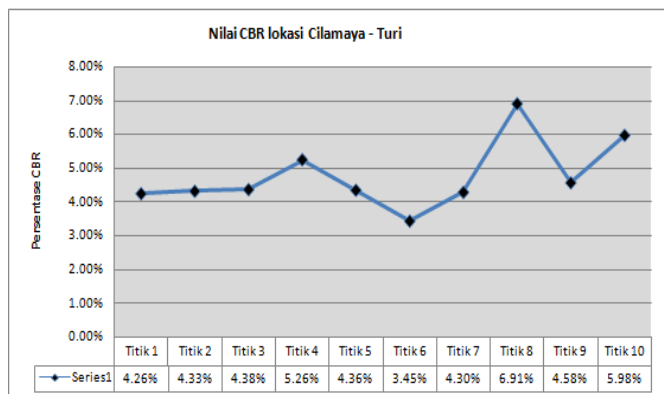
yang mewakili daya dukung tanah dasar dan dipergunakan untuk perencanaan tebal lapisan perkerasan dari segmen tersebut. Nilai CBR segmen ditentukan dengan cara analitis atau dengan cara grafis.

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Pemerintah Kabupaten Karawang Dinas Bina Marga dan Pengairan, terlihat bahwa nilai CBR pada area Cilamaya rata rata bernilai antara 3% hingga 5% sebagai berikut:

Tabel 1. Nilai CBR lokasi Cilamaya Turi

No	Lokasi Test Cilamaya Turi	CBR
1.	Titik 1	4.26 %
2.	Titik 2	4.33 %
3.	Titik 3	4.38 %
4.	Titik 4	5.26 %
5.	Titik 5	4.36 %
6.	Titik 6	3.45 %
7.	Titik 7	4.30 %
8.	Titik 8	6.91 %
9.	Titik 9	4.58 %
10.	Titik 10	5.98 %

Sumber: Penyusunan data teknis daya dukung tanah (DDT) jalan kabupaten Pemerintah Kabupaten Karawang Dinas Bina Marga dan Pengairan

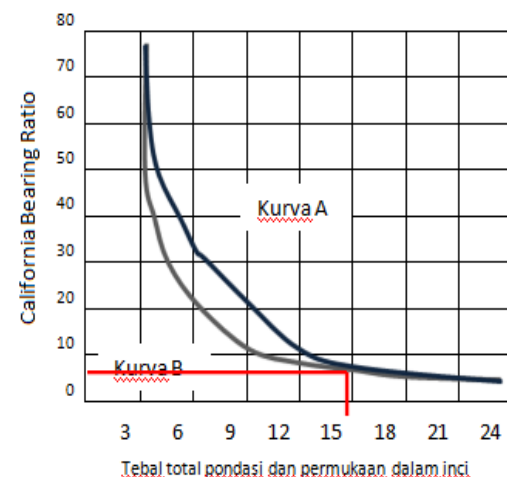


Gambar 8. Nilai CBR lokasi Cilamaya Turi

Berdasarkan tabel 1 dan gambar 8, terlihat bahwa pada lokasi Cilamaya – Turi terdapat nilai CBR (*California Bearing Ratio*) terendah sebesar 3.45 %. Oleh sebab itu, untuk mendapatkan daya dukung tanah yang baik apabila pembangunan bandar udara baru Karawang ini dilaksanakan di area Cilamaya, maka perlu dilakukan perbaikan kualitas CBR (*California Bearing Ratio*) menjadi 6%.

Penyesuaian prosedur CBR terhadap perkerasan bandar udara

Hubungan empiris antara CBR dengan ketebalan struktur perkerasan terlihat seperti pada gambar berikut:

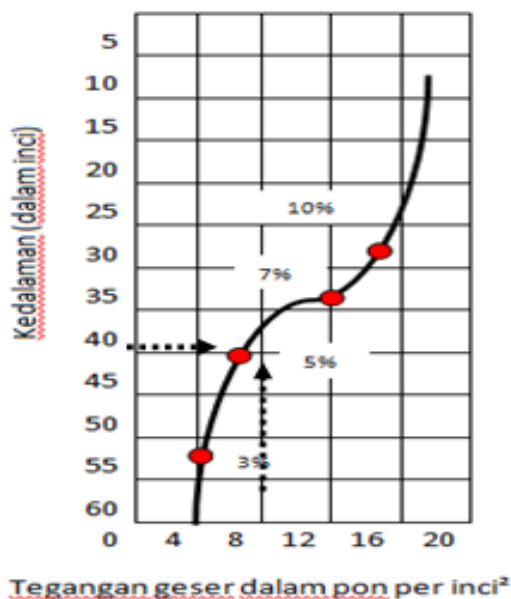


Gambar 9. Tebal total lapis pondasi dan lapis permukaan sehubungan dengan nilai-nilai CBR (sumber: *corps of engineer*)

Dari gambar tersebut diatas terlihat bahwa kurva B menunjukkan tebal minimum dari struktur perkerasan untuk lalu lintas ringan, dan kurva A merupakan struktur untuk lalu lintas rata-rata. Apabila direncanakan pada pembangunan landas pacu di bandar udara baru Karawang dilakukan

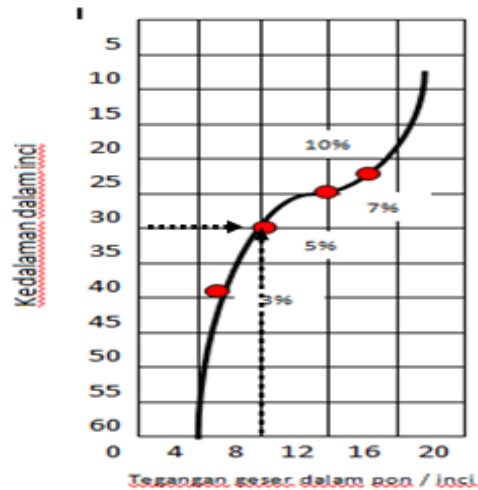
penggantian tanah dasar dengan nilai CBR 6%, maka tebal minimum lapis perkerasan 15 inci untuk beban roda pesawat 12.000 pon.

Apabila diasumsikan pesawat rencana yang akan mendarat di bandar udara ini memiliki beban roda pesawat 40.000 pon, dan apabila tanah dasar memiliki nilai CBR 6%, maka ekstrapolasi tebal perkerasan berada pada kedalaman 40 inci.



Gambar 6. Ekstrapolasi tebal perkerasan dengan teori elastik untuk beban roda 70.000 pon

Sementara itu, apabila diasumsikan pesawat rencana yang akan mendarat di bandar udara ini memiliki beban roda pesawat 70.000 pon, dan apabila tanah dasar memiliki nilai CBR 6%, maka ekstrapolasi tebal perkerasan berada pada kedalaman 30 inci.



Gambar11. Ekstrapolasi tebal perkerasan dengan teori elastik untuk beban roda 70.000 pon (sumber: Corps of engineer)

Equivalent Single Wheel Load (ESWL)

Untuk keperluan perencanaan, beban roda tunggal dapat dianggap ekuivalen dengan beban roda banyak, oleh sebab itu, Horonjeff memperkenalkan konsep beban roda tunggal ekuivalen / *Equivalent Single Wheel Load (ESWL)*. Bidang kontak dari ESWL ini sama dengan bidang kontak dari salah satu roda dari susunan roda banyak.

Untuk mengembangkan kebutuhan – kebutuhan tebal untuk susunan roda banyak dengan ukuran-ukuran dan beban total yang diketahui, ESWL dihitung pada berbagai kedalaman dengan menggunakan teori elastisitas (teori *bossiness* yang dikembangkan oleh A.E.H love). Untuk setiap kedalaman terdapat beban roda tunggal ekuivalen yang berbeda . ESWL ditetapkan untuk berbagai kedalaman, dibuat sebuah kurva yang menghubungkan ESWL dengan kedalaman.

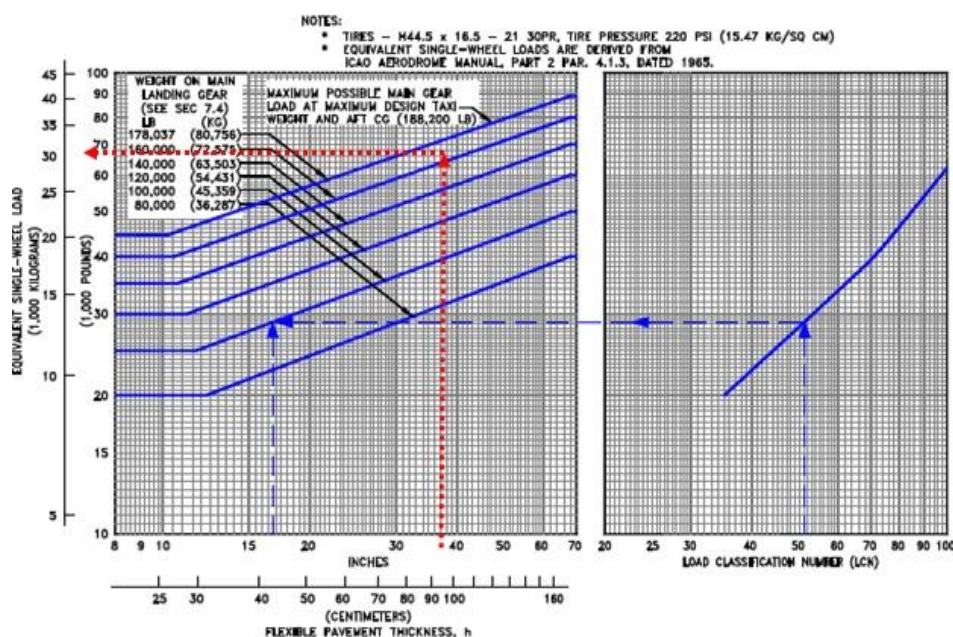
Tabel 2. Nilai *Equivalent Single Wheel Load*

Family Series	Original's		Classic's			NG's			
	100	200 Adv	300	400	500	600	700	800	900
Production:									
First flight	9 Apr 1967	8 Aug 1967	24 Feb 1984	19 Feb 1988	30 Jun 1989	22 Jan 1998	9 Feb 1997	31 Jul 1997	3 Aug 2000
First delivery	28 Dec 1967	29 Dec 1967	28 Nov 1984	15 Sep 1988	28 Feb 1990	18 Sep 1998	17 Dec 1997	22 Apr 1998	15 May 2001
Launch customer	Lufthansa	United	US Air	Piedmont	Southwest	SAS	Southwest	Hapag Lloyd	Alaska
Last delivery	2 Nov 1969	2 Aug 1988	17 Dec 1999	25 Feb 2000	21 Jul 1999	Current	Current	Current	Current
Undercarriage:									
Track (m)	5.23	5.23	5.25	5.25	5.25	5.76	5.76	5.76	5.76
Wheelbase (m)	10.46	11.38	12.40	14.27	11.07		12.60	15.60	
Turning radius (m)	17.20	17.58	19.51	20.73	18.30		19.50		
No. of Nose Wheels	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Nose Wheel Diameter (inches)	24	24	27	27	27	27	27	27	27
Nose Wheel Tread Width (inches)	7.75	7.75	7.75	7.75	7.75	7.75	7.75	7.75	7.75
Nose Tyre Pressure (psi)			160-165	173-184	186-194	146-208	142-208	123-208	7-208
No. of Main Wheels	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Main Wheel Diameter (inches)	40	40	40 or 42	40 or 42	40 or 42	43.5 or 44.5	43.5 or 44.5	44.5	44.5
Main Wheel Tread Width (inches)	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5
Main Tyre Pressure (psi)	133	183	195-203	211-217	193-202	117-205	117-205	120-205	7-205

Dalam prakteknya ESWL (*Equivalent Single Wheel Load*) yang didefinisikan sebagai beban pada ban tunggal yang akan menghasilkan *deflexed* maksimum yang sama di tingkat subgrade sebagai beban *multi wheel*. ESWL (*Equivalent Single Wheel Load*) ini juga merupakan fungsi dari kedalaman perkerasan.

Tebal perkerasan lentur

Untuk menentukan tebal perkerasan lentur, perlu diketahui tipe pesawat yang direncanakan akan dapat mendarat di bandar udara tersebut. Bila direncanakan bandar udara baru tersebut akan didarati oleh pesawat Boeing 737-900 ER, maka perlu diperhatikan *Maximum Landing Gear Weight* untuk pesawat ini adalah 80.756 kg.



Oleh sebab itu, berdasarkan gambar grafik tersebut terlihat bahwa ESWL (*Equivalent Single Wheel Load*) (P) adalah sebesar 32.000 kg.

Bandar udara baru di Karawang yang akan dibangun sebagai pendukung Bandar udara Internasional Soekarno Hatta yang pada tahun 2011 melayani 345.508 penerbangan, diasumsikan akan menjadi bandar udara yang cukup sibuk sejak awal di operasikan. Bila diasumsikan 25% penerbangan di Bandar Udara Soekarno Hatta dialihkan ke bandar udara baru ini, maka terdapat 75.000 pergerakan per tahun. Karena itu, perhitungan tebal perkerasan lentur dengan metode CBR (*California Bearing Ratio*) dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut:

$$T = (8,71 \cdot \log R + 5,43) \sqrt{P \cdot \left(\frac{1}{8,1 \cdot CBR} - \frac{1}{450 \cdot S} \right)}$$

dimana:

T = Tebal perkerasan total (mm) di atas tanah dasar

R = Jumlah ESWL yang bekerja (beban berulang)

S = Tekanan roda (ban) dalam Mpa

P = ESWL (kg)

$$\begin{aligned} T &= (8,71 \log 75.000 + 5,43) (\sqrt{70.000 \{ (1 / (8,1 (6)) - (1/450.(2)) \} \\ &= \{ (8,71 \times 4,875) + 5,43 \} \times \sqrt{(32.000 \times 0.019)} \\ &= 47,89 \times 24,6 \\ &= 1.180 \text{ mm} = 118 \text{ cm} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan, terlihat bahwa tebal perkerasan minimum yang harus tersedia bila Bandar Udara baru di Karawang direncanakan dapat didarati oleh pesawat Boeing 737-900 ER adalah 118 cm.

KESIMPULAN

Dari hasil pengolahan data dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa area Cilamaya berdasarkan hasil survey CBR (*California Bearing Ratio*) yang dilaksanakan oleh Dinas Bina Marga dan Pengairan Pemerintah Pusat Kabupaten Karawang berkisar antara 3% hingga 5%. Tebal lapisan perkerasan minimum bandar udara baru di Karawang bila pelaksanaan pembangunan di area Cilamaya sesuai dengan nilai CBR (*California Bearing Ratio*), dan memperhatikan nilai ESWL (*Equivalent Single Wheel Load*) pesawat Boeing 737-900 ER adalah 118 cm.

DAFTAR PUSTAKA

International Civil Aviation Organization (ICAO), Annex 14, (1999). *Aerodrome Design and Operation*. Third Edition.

Azwaruddin. (<http://azwaruddin.blogs-pot.com/2008/06/pengertian-pondasi.html>), diakses tanggal 6 Januari 2013.

Basuki, Ahmad dan Syarif, Iwan. (2003). *Decision Tree*. Surabaya : Politeknik Elektronika Negeri Surabaya ITS.

Cholid, Christian, Basuki, dan Adi. (2010). *Pengertian dan Istilah Penerbangan Sipil*. Jakarta : Grafindo.

- Efendi, Ferry. (2011). *Civil Engineering*. Yogyakarta : Andi.
- Horonjeff. (1994). *Perencanaan dan Perancangan Bandar Udara*. Jakarta : Erlangga.
- Lutfia. (2011). *Regangan, Tegangan, Dan Modulus Young*. (<http://upik-kipu.blogspot.com/2011/12/regangan-tegangan-dan-modulus-young.html>), diakses tanggal 16 Januari 2013.
- Mac Donald dan Angus J. (2002). *Struktur dan Arsitektur* edisi kedua, Jakarta : Erlangga.
- Pedoman Teknis Perancangan dan Kontruksi Prasarana Bandar Udara oleh Seksi Mutu Kontruksi Sipil (Sub Direktorat Penyelidikan dan Standardisasi Direktorat Teknik Bandara Udara)
- Transport Canada. (2013). *Aerodrome Safety* (AARME), Ottawa, Canada.