

**ANALISIS PERBANDINGAN METODE EMPIRIS DAN METODE MEKANISTIK
DALAM PERANCANGAN LANDASAN BANDAR UDARA
(STUDI KASUS BANDAR UDARA KERTAJATI – MAJALENGKA)**
**COMPARISON OF EMPIRICAL METHOD AND MECHANISTIC METHOD
IN AIRPORT PAVEMENT DESIGN
(CASE STUDY KERTAJATI-MAJALENGKA AIRPORT)**

Muhammad Anis

Direktorat Jenderal Perhubungan Udara, Kementerian Perhubungan

Jl. Medan Merdeka Barat No. 8 Jakarta 10110

[email: muhammad_anis@dephub.go.id](mailto:muhammad_anis@dephub.go.id)

Diterima: 12 Oktober 2016, Revisi 1: 2 November 2016, Revisi 2: 16 November 2016, Disetujui: 30 November 2016

ABSTRAK

Metode desain perkerasan landasan bandar udara dibagi menjadi dua, yaitu metode empiris dan metode mekanistik. Terdapat pergeseran dalam sistematika mendesain landasan dari semula adalah metode empiris menjadi sekarang yaitu metode mekanistik. Perlu dilakukan kajian mengenai pengaruh dari pergeseran tersebut terhadap desain landasan bandar udara di Indonesia, begitu juga pengaruh pergeseran tersebut terhadap perhitungan nilai PCN (*Pavement Classification Number*). Perhitungan metode empiris dilakukan berdasarkan metode FAA (*Federal Aviation Administration*) dengan dokumen 150/5320-6D, sedangkan metode mekanistik didasarkan pada dokumen 150/5320-6E yang diaplikasikan dengan program komputer FAARFIELD (*Federal Aviation Administration Rigid and Flexible Iterative Layer Design*). Sedangkan kajian perhitungan nilai PCN dilakukan dengan dua metode yaitu metode ICAO (*International Civil Aviation Organisation*) dan dengan program komputer COMFAA, berdasarkan dokumen AC 150/5335-5C. Kajian banding dilakukan terhadap parameter desain yaitu tebal perkerasan dan biaya, analisis sensitivitas, dan perhitungan PCN yang menghasilkan kriteria, pelayanan nilai PCN terhadap ACN (*Aircraft Classification Number*), dan pelayanan nilai modul pesawat. Metode empiris merupakan metode *surface oriented* sedangkan metode mekanistik merupakan metode *base oriented*. Berdasarkan analisis sensitivitas pada desain perkerasan baru, baik dengan metode empiris maupun metode mekanistik, didapatkan struktur perkerasan metode mekanistik yang lebih tipis jika digunakan pesawat modul 200 (kelas pesawat 5) daripada pesawat modul 350 (kelas pesawat 6). Hasil nilai PCN yang dihitung dengan program COMFAA lebih besar nilainya daripada yang dihitung dengan Metode ICAO.

Kata kunci: empiris, mekanistik, ICAO, FAA, PCN

ABSTRACT

The method of runway pavement design is divided into two, namely empirical method and mechanistic method. There is a shift in systematic designing the runway, from the empirical method to the mechanistic method. It is necessary to study the effect of these different methods for the airports in Indonesia, as well as the effect of these two calculations to the value of PCN (Pavement Classification Number). The empirical calculation method is based on the FAA (Federal Aviation Administration) document 150 / 5320-6D, and the mechanistic method is based on FAA document 150 / 5320-6E that has been applied in FAARFIELD (Federal Aviation Administration Rigid and Flexible Layer Iterative Design) computer programs. The calculation of PCN value is based on ICAO (International Civil Aviation Organisation) method, and also can be calculated by COMFAA computer program which is based on document AC 150 / 5335-5C. Comparison analysis of the design parameters is performed based on pavement thickness and cost, sensitivity analysis, and calculations that generate the PCN criteria, PCN service value to ACN (Aircraft Classification Number), and service value of the aircraft. The empirical method is a surface-oriented while the mechanistic method is base-oriented. The sensitivity analysis of new pavement design shows a thinner pavement structure mechanistic method for plane module 200 (aircraft grade 5) than plane module 350 (aircraft grade 6). PCN value which is calculated by the program COMFAA is greater than that calculated by the ICAO method.

Keywords: Empiric, Mechanistic, ICAO, FAA, PCN.

PENDAHULUAN

Perencanaan perkerasan landasan bandar udara sangat dipengaruhi oleh lalu lintas pesawat udara yang beroperasi. Pada analisis perhitungan, desain perkerasan landasan di suatu bandar udara dapat didasarkan atas metode empiris dan metode mekanistik.

Metode empiris adalah suatu metode desain perkerasan yang didasarkan pada perhitungan terhadap pesawat rencana terbesar dan nilai CBR (*California Bearing Ratio*). Nilai CBR *sub grade* (tanah dasar) digunakan sebagai dasar perhitungan tebal lapis perkerasan baik *subbase course* (lapis pondasi bawah), *base course* (lapis pondasi) dan *surface course* (lapis permukaan). *Surface* diperhitungkan dengan menggunakan stabilitas dari hasil uji perhitungan Marshall Test. Dari hasil test tersebut, akan didapatkan gambaran kapan material tersebut akan hancur atau gagal.

Metode empiris di dalam melakukan perhitungan desain tebal perkerasan mendasarkan pada hubungan antara CBR tanah dasar dengan jenis pesawat terbesar, serta kekuatan lapis *subbase* dan *base*. Hubungan tersebut disederhanakan dengan suatu konversi ke dalam bentuk kurva atau grafik. Baik ICAO (*International Civil Aviation Organisation*) maupun FAA (*Federal Aviation Administration*) masih memberlakukan metode empiris dalam mendesain perkerasan landasan.

Metode mekanistik adalah suatu metode desain perkerasan yang mendasarkan perhitungan pada pergerakan pesawat udara yang beroperasi baik pesawat besar maupun kecil, dan juga memperhitungkan tegangan (*stress*), regangan (*strain*), serta perubahan bentuk (*deformation*) sebagai akibat dari pembebanan. Pada lapis *sub grade* perhitungan dilakukan dengan *modulus of sub grade reaction*, sedangkan lapis di atas *sub grade* baik *sub base*, *base*, maupun *surface* dihitung dengan *modulus resilient*. *Modulus resilient* adalah modulus yang dihitung dengan cara memberikan beban secara bertahap. Dengan adanya pertambahan beban bertahap akan timbul tegangan dan regangan yang terjadi pada setiap lapis sehingga akan didapatkan data kapan

kegagalan material akan terjadi, yang berarti merupakan gambaran dari kekuatan bahan pada saat material mulai kelelahan atau mulai rusak. Untuk mendeteksi lendutan dan tegangan yang terjadi akibat beban, pada umumnya perhitungan metode mekanistik lebih rumit dan biasanya dilakukan dengan bantuan komputer. Metode mekanistik saat ini direkomendasikan oleh ICAO dan FAA.

Metode empiris maupun metode mekanistik dapat digunakan untuk mendesain tebal perkerasan suatu landasan. Terdapat pergeseran dalam sistematika mendesain landasan, baik desain yang dilakukan oleh ICAO maupun FAA, yaitu dari sistem metode empiris ke metode mekanistik. Karena desain landasan di Indonesia masih mengadopsi dari kedua lembaga tersebut, maka perlu dilakukan kajian mengenai pengaruh dari pergeseran sistematika desain landasan tersebut terhadap desain landasan bandar udara di Indonesia. Pada penelitian ini juga dilakukan kajian pengaruh perubahan sistematika desain landasan terhadap nilai PCN (*Pavement Classification Number*), sebagai parameter kapasitas struktural.

Perumusan masalah dalam penelitian ini adalah kajian terhadap pergeseran atau perubahan sistematika perhitungan desain landasan dari metode empiris ke metode mekanistik, dan pengaruhnya terhadap bandar udara di Indonesia terutama untuk desain bandar udara baru. Dalam hal ini dikaji pengaruh terhadap desain perkerasan lentur pada *runway* (landas pacu) serta pengaruhnya terhadap perhitungan nilai PCN.

Penelitian ini juga bertujuan untuk melakukan perancangan desain landasan bandar udara dengan kedua metode, baik metode empiris maupun metode mekanistik, dengan studi kasus Bandar Udara Kertajati – Majalengka. Hasilnya dapat digunakan sebagai masukan evaluasi terhadap implikasi penggunaan metode empiris dan mekanistik untuk bandar udara di Indonesia.

TINJAUAN PUSTAKA

Pengetahuan tentang pesawat udara penting untuk diketahui karena sangat berpengaruh terhadap

desain landasan bandara udara. Karakteristik pesawat udara yang menjadi acuan dan pertimbangan dalam desain bandar udara terutama adalah berat pesawat udara, dimensi pesawat udara, dan konfigurasi sumbu roda pesawat udara.

Metode empiris atau disebut juga metode CBR (*California Bearing Ratio*), pertama kali digunakan oleh *California Division of Highway* yaitu badan pengembangan jalan milik pemerintah negara bagian California di Amerika Serikat. Metode empiris mendasarkan pada investigasi kekuatan daya dukung tanah dasar. Penggunaan metode CBR memungkinkan perencanaan untuk menentukan ketebalan lapisan *sub base*, *base*, dan *surface* yang diperlukan dengan menggunakan kurva-kurva desain dan dengan prosedur pengujian test tanah yang sederhana. Dengan demikian desain tebal perkerasan landasan didasarkan pada nilai CBR tanah dasar.

Kelemahan dari metode empiris adalah bahwa metode ini hanya dapat dipergunakan untuk desain perkerasan jalan dengan kondisi lingkungan, material dan kondisi pembebanan tertentu sesuai dengan percobaan yang dilakukan dalam pengembangan metode empiris ini. Oleh karena itu apabila akan menggunakan metode empiris, harus dilakukan terlebih dahulu cara *trial* dan *error* untuk menyesuaikan dengan kondisi yang baru (Huang, 2004).

Metode mekanistik merupakan metode yang dikembangkan dari kaidah teoritis karakteristik suatu material yang digunakan dalam perencanaan perkerasan, termasuk estimasi respon struktur perkerasan terhadap beban kendaraan (pesawat) yang diterima oleh perkerasan. Metode mekanistik mengasumsikan perkerasan sebagai suatu struktur *multi-layer (elastic) structure* untuk perkerasan lentur, dan suatu struktur *beam on elastic foundation* untuk perkerasan kaku. Akibat beban roda yang bekerja di atasnya, yang dalam hal ini dianggap sebagai beban statis merata, maka akan timbul tegangan (*stress*) dan regangan (*strain*) pada struktur tersebut.

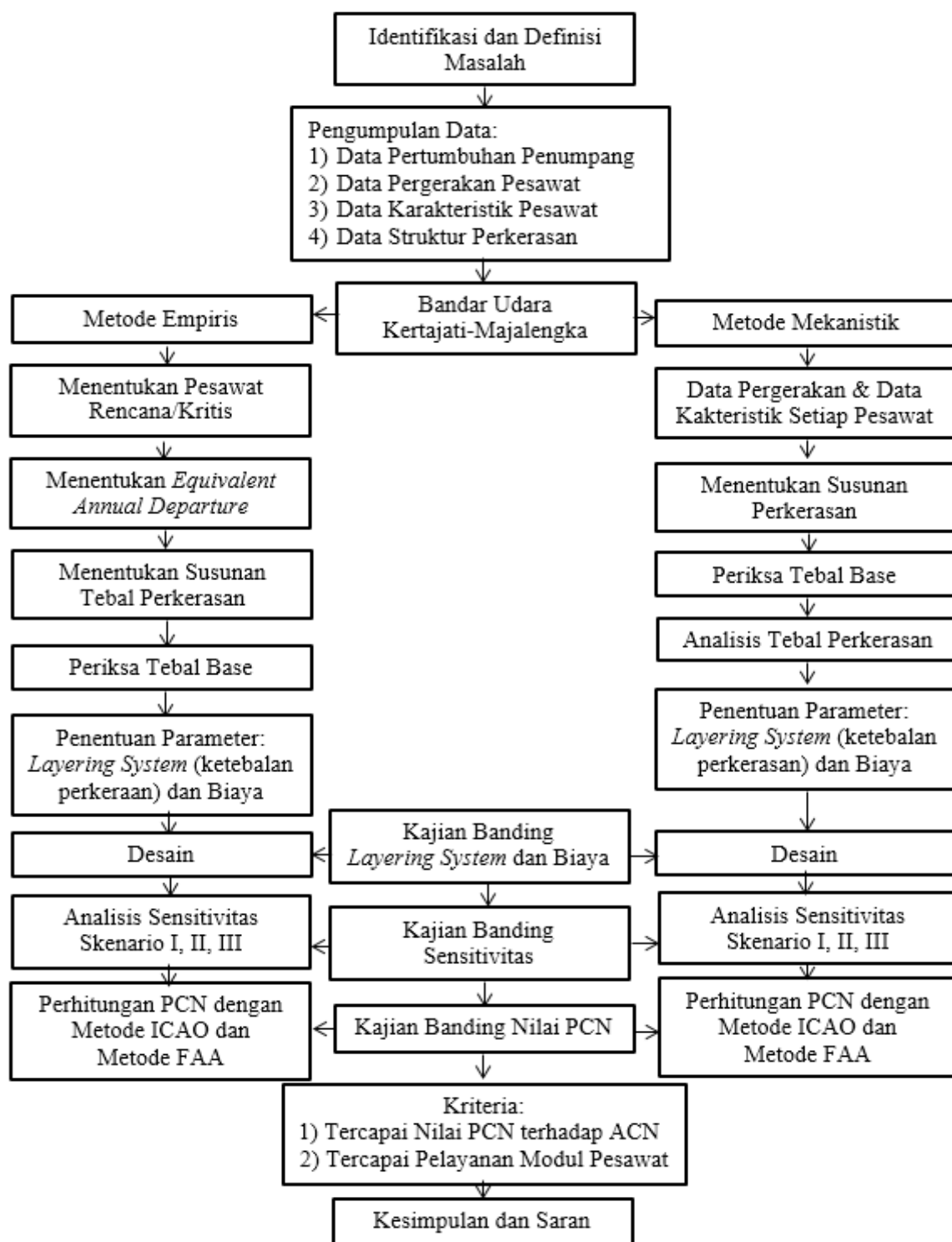
Prinsip dari program FAARFIELD adalah menghitung tebal rencana perkerasan landasan, yang didasarkan atas analisa struktur lapis *elastic* dan *finite element* tiga dimensi. Perhitungan dibuat untuk mengakomodasi dampak susunan sumbu roda pesawat yang rumit. Metode perencanaan membutuhkan perhitungan yang kompleks, sehingga FAA mengembangkan program komputer yang dinamakan FAARFIELD.

International Civil Aviation Organization (ICAO, 1983) menyatakan bahwa kekuatan struktur perkerasan yang direncanakan untuk pengoperasian pesawat udara yang memiliki berat total lebih dari 5700 kg harus dapat dipublikasikan dengan menggunakan metoda *Aircraft Classification Number – Pavement Classification Number* (ACN-PCN). PCN adalah suatu angka yang menjelaskan daya dukung perkerasan untuk operasi pesawat tak terbatas, dengan nilai ACN kurang dari atau sama dengan PCN.

Jika nilai ACN dan tekanan roda pesawat lebih besar dari nilai PCN pada kategori *subgrade* tertentu yang dipublikasikan, maka operasi pesawat udara tidak diijinkan beroperasi kecuali dengan mengurangi beban operasi, atau pada keadaan tertentu, pengoperasian kondisi *overload* dapat diberikan.

Program COMFAA adalah suatu program komputer dengan tujuan untuk melakukan perhitungan *Aircraft Classification Number* (ACN) dan perhitungan desain perkerasan. Program COMFAA dikembangkan dengan konsep *Cummulative Damage Factor* (CDF), yaitu dengan menghitung efek gabungan dari beberapa pesawat (gabungan pesawat) yang beroperasi di bandar udara. Efek dari lalu lintas gabungan ini disetarakan dengan pesawat kritis. Dengan penyeteraan tersebut, perhitungan PCN dapat mencakup dampak dari semua lalu lintas pesawat secara proporsional.

METODOLOGI



Gambar 1. Diagram Alir Program Penelitian

HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN

A. Metode Empiris

Pada metode empiris, perhitungan struktur landasan Bandar Udara Kertajati - Majalengka didasarkan pada dokumen FAA AC 150/5320-6D. Prosedur dilakukan sebagai berikut:

1. Melakukan perhitungan jumlah keberangkatan tahunan ekuivalen terhadap pesawat udara rencana (R_1) dengan rumus: $\text{Log } R_1 = (\text{Log } R_2) \times ((W_2 / (W_1))^{1/2})$, sehingga perhitungan *equivalent annual departure*, seperti dalam tabel 1.

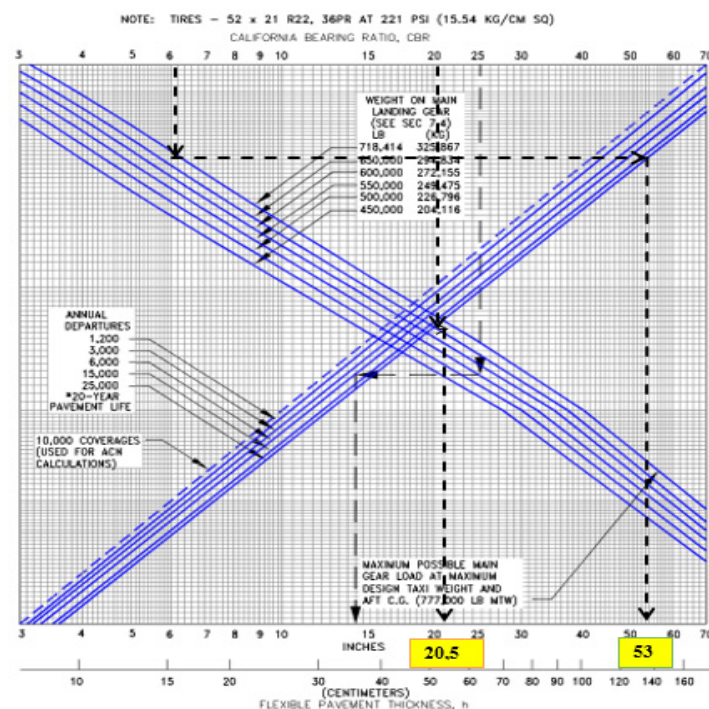
Tabel 1. Data Perhitungan *Equivalent Annual Departure*

No	Jenis Pesawat	Tipe Roda	Tipe Roda Belakang	Tipe Roda Pesawat Rencana	Faktor Konversi	MTOW (kg)	Forecast Annual Departure		Beban Roda Pesawat yang Dikonversi (W ₂)	Beban Roda Pesawat Rencana (W ₁)	Equivalent Annual Departure (Log R ₁)	Equivalent Annual Departure (Log R ₁)
							(R ₂)	(R ₁)				
1	C 560	Single wheel	2	Tridem	0,30	3,629	4.167	1.250	1,724	27,902	0,770	5,888
2	RJ200	Dual Wheel	4	Tridem	0,40	7,951	4.167	1.667	1,888	27,902	0,838	6,887
3	C130	Dual Wheel	4	Tridem	0,40	43,318	19.724	7.890	10,288	27,902	2,366	232,274
4	A320-200	Dual Wheel	4	Tridem	0,40	73,900	56.394	22.558	17,551	27,902	3,453	2.837,919
5	A310-300	Dual Wheel	8	Tridem	0,60	142,900	12.526	7.516	16,969	27,902	3,023	1.054,487
6	B777300ER	Tridem	12	Tridem	1,00	3,937	3.937	3.937	27,902	27,902	3,595	3.935,500
TOTAL												8.072,955

Sumber: analisis data, 2016

2. Dengan menggunakan kurva pada gambar 2 *maximum take off wight* pesawat udara rencana, yaitu B 777-300 ER dengan

CBR tanah dasar dan *equivalent annual departure*, maka akan diperoleh tebal perkerasan total.



Sumber: Airplan Characteristics for Airport Planning Boeing Doc. D6-58329-2

Gambar 2. Kurva *Flexible Pavement* untuk Pesawat Rencana B777-300 ER

Dengan data perencanaan sebagai berikut:

- a. Pesawat rencana terbesar : B 777-300 ER
- b. *Maximum Take Off Weight* : 352.441 kg
- c. Susunan Roda : Tridem (3D)
- d. CBR Tanah Dasar : 6 %
- e. CBR Subbase : 20 %
- f. *Equivalent Annual Departure* : 8.072,955

Dari kurva pesawat rencana dan *input data* data di atas, diperoleh tebal total perkerasan 53 inch.

3. Melakukan perhitungan tebal lapis pondasi bawah (*sub base course*) dengan kurva yang sama, dan dengan input CBR *Subbase* = 20 % diperoleh tebal (*surface + base course*) = 20,5 in, jadi tebal *subbase course* = 53 - 20,5 = 32,5 in.
4. Menentukan lapis permukaan (*surface course*), tebal *surface course* ditentukan sebesar 6 in.
5. Melakukan perhitungan tebal lapis pondasi (*base course*), tebal *base course* = 20,5 – 6 = 14,5 in. Angka ini, sudah memenuhi tebal minimum *base course*. Diketahui tebal minimum 8 in.

6. Memeriksa tebal minimum lapis pondasi / *base course*.

Jika tebal lapis pondasi > tebal minimum artinya memenuhi syarat.

Jika tebal lapis pondasi < tebal minimum artinya kurang tebal lapis pondasi bawah.

14,5 in > 8 in tebal sesuai dan dipilih

Maka susunan perkerasan landasan Bandar Udara Kertajati – Majalengka, adalah sebagai berikut:

- a) *Surface Course* = 6 in = 15,24 cm
- b) *Base Course* = 14,5 in = 36,83 cm
- c) *Subbase Course* = 32,5 in = 82,55 cm
- Total = 53 in = 134,62 cm

B. Metode Mekanistik

Pada metode mekanistik, perhitungan struktur landasan Bandar Udara Kertajati - Majalengka dihitung berdasarkan dokumen FAA AC 150/5320-6E. Dengan memasukkan data ke dalam program FAARFIELD, diperoleh hasil perhitungan desain landasan Bandar Udara Kertajati – Majalengka, sebagai berikut:

FAARFIELD- Airport Pavement Design (V 1.305, 9/28/10 64-bit) Pavement Structure Information by Layer, Top First

No.	Type	Thickness mm	Modulus MPa	Poisson's Ratio	Strength R,MPa
1	P-401/ P-403 HMA Surface	127,0	1.378,95	0,35	0,00
2	P-209 Cr Ag	457,2	568,02	0,35	0,00
3	P-154 UnCr Ag	944,4	206,36	0,35	0,00
4	Subgrade	0,0	62,05	0,35	0,00

Total thickness to the top of the subgrade = 1.528,6 mm

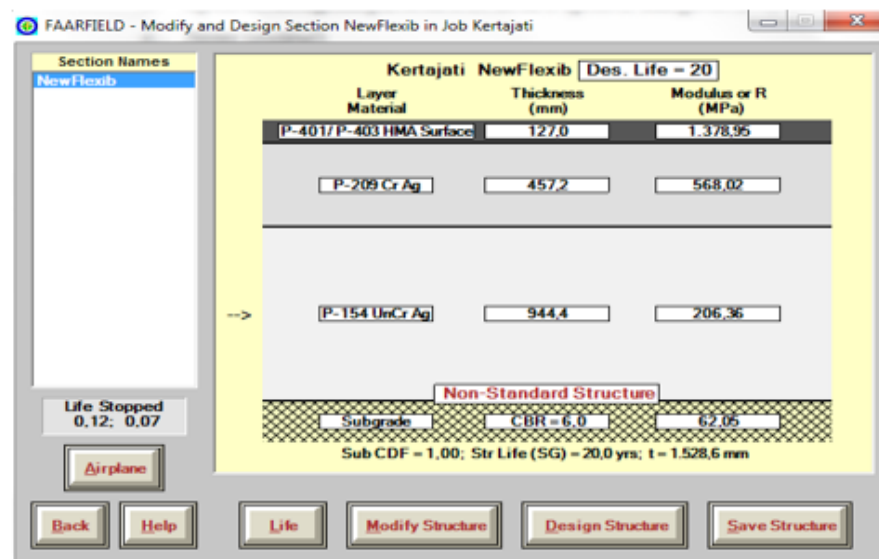
Airplane Information

No.	Name	Gross Wt. tonnes	Annual Departures	% Annual Growth
1	Citation-V	7,484	4.167	0,00
2	RegionalJet-200	21,523	4.167	0,00
3	C-130	70,307	19.724	0,00
4	A320-200 Twin std	73,900	56.394	0,00
5	A310-300	142,900	12.526	0,00
6	B777-300 ER	352,441	3.937	0,00

Additional Airplane Information

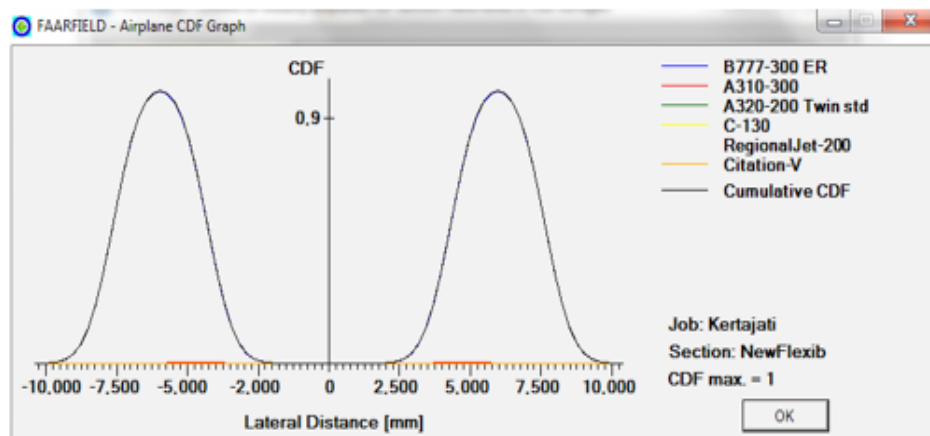
Subgrade CDF

No.	Name	CDF Contribution	CDF Max for Airplane	P/C Ratio
1	Citation-V	0,00	0,00	1,37
2	RegionalJet-200	0,00	0,00	1,24
3	C-130	0,00	0,00	1,06
4	A320-200 Twin std	0,00	0,00	1,08
5	A310-300	0,00	0,00	0,85
6	B777-300 ER	1,00	1,00	0,72



Sumber: Analisis data, 2016

Gambar 3. Hasil Perhitungan Program FAARFIELD Bandar Udara Kertajati-Majalengka



Sumber: Analisis data, 2016

Gambar 4. Kurva CFD Hasil Perhitungan Program FAARFIELD Bandar Udara Kertajati-Majalengka

C. Parameter

Parameter hasil desain struktur landasan Bandar Udara Kertajati – Majalengka adalah tebal struktur perkerasan desain dan perhitungan biaya (*cost*) yang mengacu pada Peraturan Menteri Perhubungan nomor 78

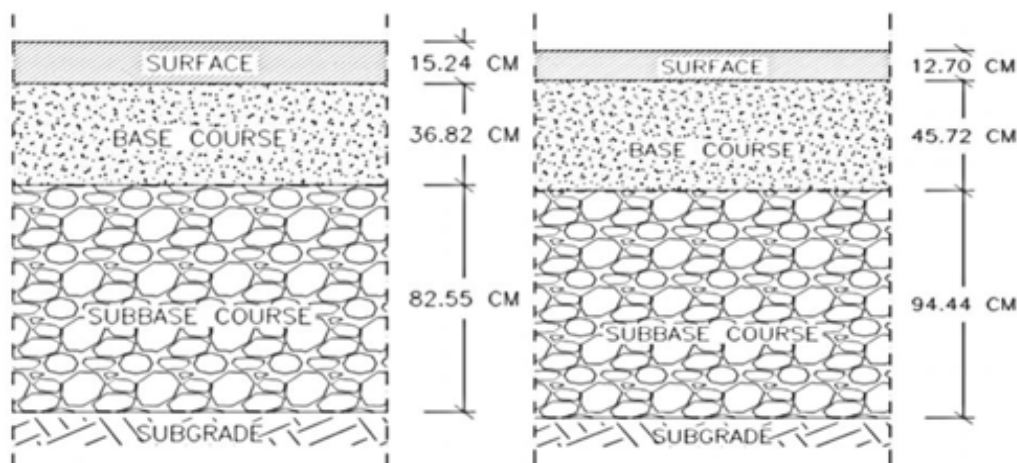
tahun 2014 tentang standar biaya di lingkungan Kementerian Perhubungan tahun 2015, seperti dalam tabel 2.

Sketsa hasil perhitungan metode empiris dan metode mekanistik Bandar Udara Kertajati – Majalengka ditunjukkan pada gambar 5.

Tabel 2. *Layering System* dan Biaya (*Cost*) Perkerasan Landasan dengan Metode Empiris dan Metode Mekanistik Bandara Kertajati – Majalengka

Bandar Udara	Hasil Perhitungan	
	Metode Empiris	Metode Mekanistik
Kertajati – Majalengka	a) <i>Surface Course</i> = 15,24 cm = Rp. 455.821,02	a) <i>Surface Course</i> = 12,7 cm = Rp. 379.850,85
	b) <i>Base Course</i> = 36,83 cm = Rp. 105.932,85	b) <i>Base Course</i> = 45,72 cm = Rp. 131.502,85
	c) <i>Subbase Course</i> = 82,55 cm = Rp. 348.647,12	c) <i>Subbase Course</i> = 94,44 cm = Rp. 398.864,13
	Total = 134,62 cm	Total = 152,86 cm
	Total Biaya (<i>cost</i>) / m ² Rp. 910.400,99	Total Biaya (<i>cost</i>) / m ² Rp. 910.217,83

Sumber: Analisis data, 2016



Sumber: Analisis data, 2016

Gambar 5. Layering System Perkerasan Landasan Metode Empiris dan Metode Mekanistik Bandar Udara Kertajati-Majalengka

D. Analisis Sensitivitas

Analisis sensitivitas adalah melakukan analisis dengan simulasi pembebanan jumlah penumpang yang diangkut dalam suatu kelas pesawat, yang berpengaruh terhadap tebal perkerasan namun dengan jumlah layanan tetap. Pada analisis sensitivitas ini, dibagi menjadi III skenario, yaitu:

1. Skenario I, dengan jumlah pergerakan pesawat per tahun sesuai dengan jumlah pergerakan pesawat per tahun yang dapat di angkut oleh masing – masing kelas pesawat.
2. Skenario II, dengan jumlah pergerakan pesawat per tahun pada kelas pesawat 6, 5, 4, 3, sesuai dengan jumlah pergerakan pesawat per tahun yang dapat di angkut oleh masing – masing kelas pesawat tetapi pada kelas pesawat 2, jumlah pergerakan

pesawat per tahun diasumsikan diangkut semua penumpangnya dalam kelas pesawat 1.

3. Skenario III, dengan jumlah pergerakan pesawat per tahun pada kelas pesawat 6, 5, 4, 3, sesuai dengan jumlah pergerakan pesawat per tahun yang dapat di angkut oleh masing – masing kelas pesawat tetapi pada kelas pesawat 1, jumlah pergerakan pesawat per tahun diasumsikan diangkut semua penumpangnya dalam kelas pesawat 2.

Semua skenario diatas, disampaikan dalam tabel 3.

Pada skenario tersebut, kemudian dilakukan perhitungan dengan metode empiris dan metode mekanistik, yang diperoleh hasil seperti dalam Tabel 4.

Tabel 3. Analisis Sensitivitas per Skenario pada Bandar Udara Kertajati-Majalengka

No	Kelas Pesawat	Modul atau Kapasitas Rata-Rata Pesawat	Pergerakan Pesawat per Tahun	Penumpang per Tahun	Skenario I	Skenario II	Skenario III	Jenis Pesawat per Kelas
1	6	23	4.167	95.841	4.167	4.167	4.167	C 560/Cit V
2	5	50	4.167	208.350	4.167	4.167	4.167	RJ200
3	4	75	19.724	1.479.300	19.724	19.724	19.724	C 130
4	3	125	56.394	7.049.250	56.394	56.394	56.394	A 320-200
5	2	200	12.526	2.505.200	12.526	0	12.526 + 6.889 = 19.415	A 310 -300
6	1	350	3.937	1.377.950	3.937	7.157 + 3.937 = 11.094	0	B 777-300 ER

Sumber: Analisis data, 2016

Tabel 4. Analisis Sensitivitas per Skenario Hasil Perhitungan Metode Empiris dan Metode Mekanistik pada Bandara Udara Kertajati-Majalengka

No	Kelas Pesawat	Modul atau Kapasitas Rata-Rata Pesawat	Pergerakan Pesawat Per Tahun	Skenario I		Skenario II		Skenario III		Jenis Pesawat
				Metode Empiris (cm)	Metode Mekanistik (cm)	Metode Empiris (cm)	Metode Mekanistik (cm)	Metode Empiris (cm)	Metode Mekanistik (cm)	
1	6	23	4.167	Surface =15,24	Surface =12,70	Surface =15,24	Surface =12,70	Surface =15,24	Surface =12,70	C 560
2	5	50	4.167	Base =36,83	Base =45,72	Base =38,10	Base =48,81	Base =30,48	Base =37,78	RJ 200
3	4	75	19.724	Sub-base=82,55	Sub-base=94,44	Sub-base=83,82	Sub-base=101,9	Sub-base=78,74	Sub-base=59,05	C 130
4	3	125	56.394							A320-200
5	2	200	12.526							A310-300
6	1	350	3.937	Total =134,62	Total =152,86	Total =137,16	Total =163,42	Total =124,46	Total =109,53	B777-300ER

Sumber: Analisis data, 2016

E. Perhitungan Nilai PCN

Dari hasil perhitungan desain struktur landasan Bandar Udara Kertajati – Majalengka baik dengan metode empiris maupun metode mekanistik, dilanjutkan dengan perhitungan nilai PCN dengan dua metode yaitu metode ICAO dan metode FAA berdasarkan AC 150/5335-5C dengan Program COMFAA.

1. Metode ICAO

Perhitungan nilai PCN dengan metode ICAO, yang didasarkan pada konsep perhitungan dimana nilai PCN perkerasan dihitung berdasarkan pesawat kritis, daya dukung perkerasan, ekuivalen *annual departure* dan nilai CBR *subgrade*. Untuk mempermudah perhitungan dikembangkan kurva korelasi antara CBR *subgrade*, *annual departure*, beban pesawat dan tebal perkerasan.

Perhitungan nilai PCN Bandar Udara Kertajati – Majalengka hasil perhitungan metode empiris, dilakukan dengan prosedur atau langkah – langkah perhitungan sebagai berikut:

- Menentukan kebutuhan desain perkerasan

Dari data di atas, didapat tebal total perkerasan adalah 53 in = 134,62 cm, maka kebutuhan perkerasannya adalah:

$$1) \text{ Surface Course} = 6 \text{ in} = 15,24 \text{ cm}$$

$$2) \text{ Base Course} = 14,5 \text{ in} = 36,83 \text{ cm}$$

$$3) \text{ Subbase Course} = 32,5 \text{ in} = 82,55 \text{ cm}$$

$$\text{Total} = 53 \text{ in} = 134,62 \text{ cm}$$

- Menghitung tebal ekuivalen perkerasan, disampaikan pada tabel 5.
- Menghitung beban yang diijinkan, *Allowable Load* (Po), dengan data di atas, diperoleh *Allowable Load* dari grafik *aerodome design manual*, B 777-300 ER adalah 718.414 lbs.
- Menghitung nilai PCN

Dengan diketahui untuk pesawat B777-300 ER

$$\text{Massa maks} = 718.414 \text{ lbs}$$

$$\text{Massa Min} = 370.000 \text{ lbs}$$

$$\text{ACN Maks} = 89$$

$$\text{ACN min} = 29$$

Maka,

$$\text{PCN} = \text{ACN}_{\min} + (\text{ACN}_{\max} - \text{ACN}_{\min}) =$$

$$\left[\frac{\text{Po} - \text{Massa min}}{\text{Massa mak} - \text{Massa min}} \right]$$

$$\text{PCN} = 29 + (89 - 29) \times$$

$$\left[\frac{718.414 - 370.000}{718.414 - 370.000} \right]$$

$$\text{PCN} = 89$$

Tabel 5. Perhitungan Tebal Ekuivalen Nilai PCN Bandar Udara Kertajati - Majalengka

No	Lapis Perkerasan	Tebal (cm)	Bahan	Tebal Ekuivalen (cm)
1	Surface Course	15,24	AC	15,24 x 1 = 15,24
2	Base Course	36,83	BC	36,83 x 1 = 36,83
3	Subbase Course	82,55	SB	82,55 x 1 = 82,55
Tebal Total				134,62

Sumber: Analisis data, 2016

Total *Equivalent Thickness* = 134,62 cm = 53 in.

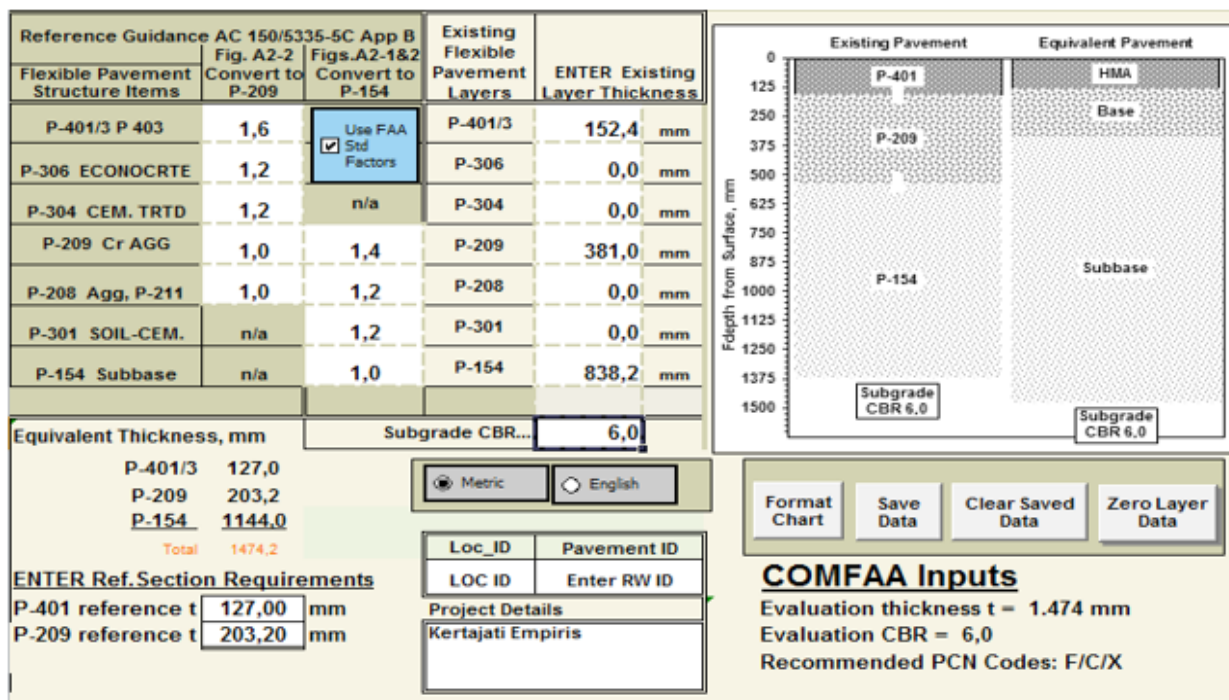
Dengan cara yang sama, maka diperoleh nilai PCN Bandar Udara Kertajati – Majalengka hasil perhitungan metode mekanistik, hasilnya disampaikan dalam tabel 6.

2 Metode FAA

Perhitungan nilai PCN Bandar Udara Kertajati – Majalengka berdasarkan metode

empiris dengan metode FAA AC 150/5335-5C menggunakan Program COMFAA, dilakukan dengan prosedur sebagai berikut:

- a) Melakukan konversi tebal lapisan dengan program COMFAA – 30 – Support, gambar 6.



Sumber: analisis data, 2016

Gambar 6. Hasil Perhitungan Konversi Tebal Perkerasan dengan Program COMFAA-30-Support Bandar Udara Kertajati-Majalengka

Jika dihitung dengan manual adalah sebagai berikut :

1) Desain perkerasan dengan pesawat B 777-300 ER,

(a) *Surface Course* = 6 in = 15,24 cm

(b) *Base Course* = 15 in = 38,10 cm

(c) *Sub base Course* = 33 in = 83,82 cm

2) Melakukan konversi tebal perkerasan

(a) $P_{401} = 6 - 5 = 1$

= $1 \times 1,6$

= 1,6 adalah material P.209 (*base course*)

(b) $P_{209} = 15 - 8 = 7$

= $7 \times 1,4$

= 9,8 adalah material P.154 (*subbase course*)

= $1,6 \times 1,4 = 2,24$ adalah material P.154 (*subbase course*)

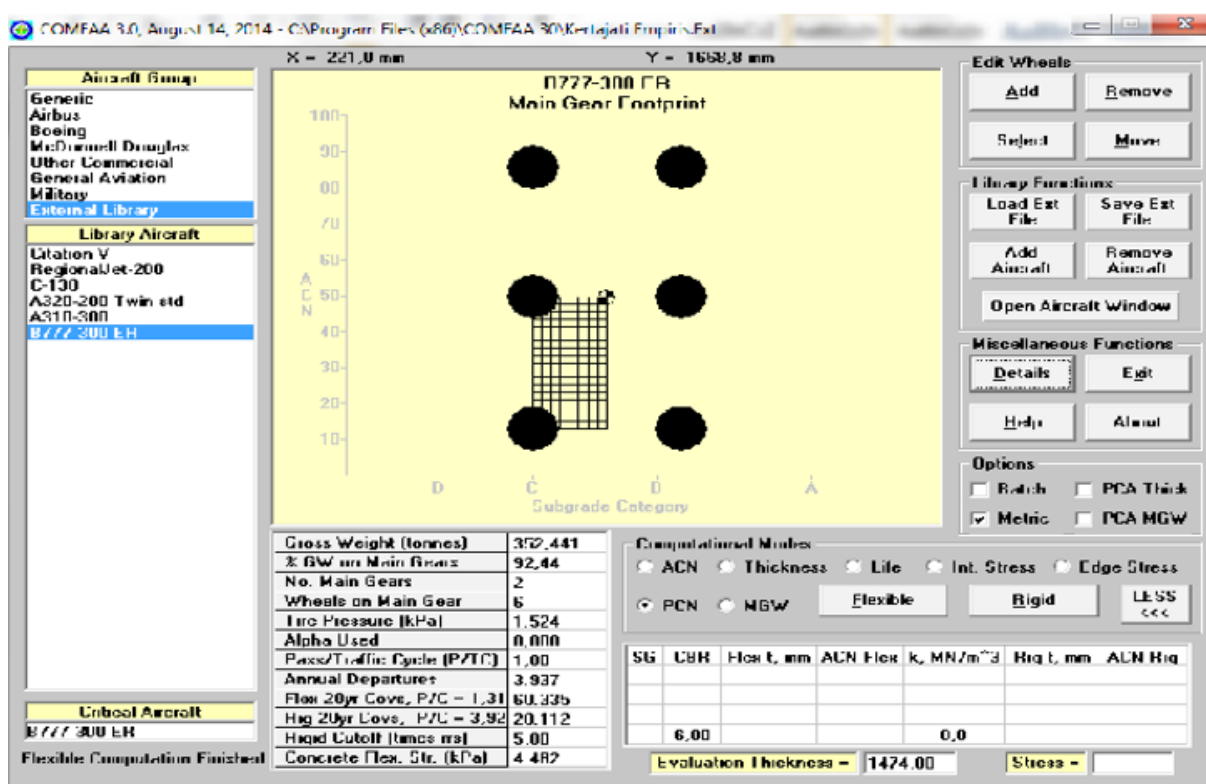
(c) $P_{154} = 33$

= $5 + 8 + 9,8 + 2,24 + 33$

= 58 in = 1474,2 mm

Jadi tebal ekuivalen adalah 1474 mm.

b) Melakukan perhitungan dengan program COMFAA, gambar 7.



Sumber: analisis data, 2016

Gambar 7. Perhitungan Nilai PCN dengan Program COMFAA-30-Support Bandar Udara Kertajati-Majalengka

c) Input Data dan Hasil Perhitungan Nilai PCN.

Results Table 1. Input Traffic Data

No.	Aircraft Name	Gross Weight	Percent Gross Wt	Tire Press	Annual Deps	20-yr Coverages	6D Thick
1	Citation-V	7,484	95,00	896	4.167	7.550	294,0
2	RegionalJet-200	21,523	95,00	1.220	4.167	15.240	471,6
3	C-130	70,307	95,00	724	19.724	170.595	762,4

4	A320-200 Twin std	73,900	93,80	1.380	56.394	303.134	926,7
5	A310-300	142,900	94,40	1.290	12.526	137.363	929,9
6	B777-300 ER	352,441	92,44	1.524	3.937	60.335	1.171,8

Results Table 2. PCN Values

No. Aircraft	Name	Critical Aircraft Total Equiv. Covs.	Thickness for Total Equiv. Covs.	Maximum Allowable Gross Weight	ACN Thick at Max. Allowable Gross Weight	PCN on CDF	C(6)
6	B777-300 ER	694.216	1.240,1	442,503	1308,05	0,0000	127,9
Total CDF = 0,0000							

Dari perhitungan COMFAA tersebut, maka nilai PCN Bandar Udara Kertajati – Majalengka adalah 128 F/C/X/T.

Dengan cara yang sama dilakukan perhitungan nilai PCN Bandar Udara Kertajati – Majalengka menggunakan metode mekanistik, dengan hasil

seperti disampaikan dalam tabel 6.

Kajian banding hasil perhitungan desain landasan dengan metode empiris maupun metode mekanistik pada Bandar Udara Kertajati – Majalengka, seperti dalam tabel 7.

Tabel 6. Nilai PCN Bandar Udara Kertajati-Majalengka dengan Metode ICAO dan Metode FAA dengan Program COMFAA

Bandar Udara Kertajati - Majalengka			
Metode Empiris		Metode Mekanistik	
Metode ICAO	Metode FAA	Metode ICAO	Metode FAA
89 F/C/X/T	128 F/C/X/T	115 F/C/X/T	176 F/C/X/T

Sumber: Analisis data, 2016

Tabel 7. Kajian Banding antara Metode Empiris dan Metode Mekanistik

No	Metode Empiris	Metode Mekanistik
1	Pada perkerasan baru, desain struktur perkerasan dengan <i>sub base</i> dan <i>base course</i> lebih tipis, tetapi pada <i>surface course</i> lebih tebal sehingga metode empiris bersifat <i>surface oriented</i> , artinya desain yang lebih menekankan atau yang berorientasi pada struktur perkerasan <i>surface</i> .	Pada perkerasan baru, desain struktur perkerasan dengan <i>sub base</i> dan <i>base course</i> lebih tebal, tetapi pada <i>surface course</i> lebih tipis sehingga metode mekanistik bersifat <i>base oriented</i> , artinya desain yang lebih menekankan atau yang berorientasi pada struktur perkerasan <i>base course</i> .
2	Pada perkerasan baru, nilai PCN yang dihitung dengan Metode FAA dari hasil perhitungan metode empiris mempunyai nilai yang lebih kecil.	Pada perkerasan baru, nilai PCN yang dihitung dengan Metode FAA dari hasil perhitungan metode mekanistik mempunyai nilai yang lebih besar.

Sumber: Analisis data, 2016

Tabel 8. Analisis Perbandingan antara Metode Empiris dan Metode Mekanistik

No	Metode Empiris	Metode Mekanistik
1	Seluruh lapisan perkerasan diasumsikan menerima beban <i>axial</i> , dengan beban yang hampir sama.	Beban atau tegangan <i>axial</i> yang terjadi, sebagian besar atau lebih dari 60 %, diterima oleh lapisan <i>base</i> dan lapisan <i>sub base</i> , sedangkan peran dari lapis permukaan (<i>surface course</i>) adalah untuk menahan tegangan geser yang terjadi di permukaan, sehingga lapis permukaan lebih tipis.

2	Lapis permukaan mempunyai peran struktural, sehingga lapis permukaan hasil perhitungan metode empiris, lebih tebal daripada hasil perhitungan dengan metode mekanistik.	Lapis permukaan mempunyai peran fungsional, sehingga lapis permukaan hasil perhitungan metode mekanistik, lebih tipis daripada hasil perhitungan dengan metode empiris.
3	<i>Layering system</i> (ketebalan perkerasan) kurang mempertimbangkan pengembangan kapasitas struktural.	<i>Layering system</i> (ketebalan perkerasan) sudah mempertimbangkan pengembangan kapasitas struktural.
4	Beban atau tegangan yang terjadi, diasumsikan diterima di satu titik, yaitu dengan dilakukan perhitungan <i>ekuivalen annual departure</i> terhadap satu pesawat rencana.	Tegangan tidak di satu titik tetapi sesuai dengan beban yang diterima oleh perkerasan.

Sumber: Analisis data, 2016

Nilai PCN, yang dihitung dengan Metode FAA berdasar AC 150/5335-5C dengan program COMFAA lebih besar nilai nya dari pada yang dihitung dengan Metode ICAO, baik untuk perkerasan baru maupun *overlay*, hal ini disebabkan karena perbedaan cara perhitungan konversi tebal perkerasan, yaitu sebagai berikut:

- 1) Pada metode ICAO, konversi tebal perkerasan disesuaikan dengan tebal desain perkerasan yang diperlukan dalam setiap lapis perkerasan, sehingga berapapun tebal perkerasan eksisting harus mengikuti tebal perkerasan per lapis, dengan menggunakan *range* konversi yang sudah ditetapkan.
- 2) Pada metode FAA berdasar AC 150/5335-5C dengan Program COMFAA, konversi tebal perkerasan dijadikan satu kesamaan lapisan, yaitu *subbase course* (P-154), artinya dari *surface course* menjadi *base course* dan *base course* menjadi *subbase course*, begitu juga *base course* menjadi *subbase course*, yang disesuaikan dengan *range* konversi yang sudah ditetapkan.

Pemenuhan kriteria dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Perhitungan desain perkerasan, dengan metode empiris maupun metode mekanistik baik untuk desain perkerasan baru yang dihitung dengan metode ICAO maupun metode FAA berdasar AC 150/5335-5C dengan Program COMFAA, mempunyai nilai PCN lebih besar dari nilai ACN yang ditetapkan untuk pesawat rencana sekelas B 777-300 ER, dengan nilai ACN 89.

- 2) Berdasar analisis sensitivitas per skenario hasil perhitungan metode empiris dan metode mekanistik pada Bandar Udara Kertajati - Majalengka dan Bandar Udara Juanda – Surabaya, pada desain perkerasan baru, kebutuhan struktur perkerasan metode mekanistik adalah lebih tipis daripada metode empiris, dengan penumpang yang diangkut dengan pesawat modul 200 (pesawat kelas 5) dari pada dengan pesawat modul 350 (pesawat kelas 6).

KESIMPULAN

Melalui hasil yang diperoleh dari penelitian ini, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

Metode mekanistik, pada desain perkerasan baru, menghasilkan tebal total struktur perkerasan yang lebih tebal dari pada metode empiris.

Metode empiris, bersifat *surface oriented*, artinya desain yang lebih menekankan atau yang berorientasi pada struktur perkerasan *surface*, dimana desain struktur perkerasan dengan *sub base* dan *base course* lebih tipis, tetapi pada *surface course* menjadi lebih tebal.

Metode mekanistik, bersifat *base oriented*, artinya desain yang lebih menekankan atau yang berorientasi pada struktur perkerasan *base*, dimana desain struktur perkerasan dengan *sub base* dan *base course* lebih tebal, tetapi pada *surface course* menjadi lebih tipis.

Pada pendekatan metode empiris, lapis permukaan (*surface course*) dihitung sebagai bagian struktural, sementara pada pendekatan metode mekanistik,

lapis permukaan (*surface course*) hanya dianggap sebagai lapisan fungsional, hal ini kemudian berimplikasi terhadap perbedaan hasil perhitungan *layering system* (ketebalan perkerasan) dari kedua metode tersebut.

Berdasarkan analisis sensitivitas, struktur perkerasan metode mekanistik lebih tipis untuk kasus pesawat modul 200 (kelas pesawat 5) daripada dengan pesawat modul 350 (kelas pesawat 6). Perhitungan desain dengan metode mekanistik lebih sensitif terhadap variasi proporsi jenis pesawat dibandingkan dengan metode empiris.

Kebutuhan tebal perkerasan menjadi lebih minimum apabila proporsi pesawat didominasi oleh pesawat modul 200 (kelas pesawat 5). Kesimpulan ini bisa digunakan oleh pengambil kebijakan tentang proporsi jenis pesawat yang membutuhkan tebal perkerasan minimum.

Nilai PCN untuk perkerasan baru yang dihitung dengan Metode FAA berdasar AC 150/5335-5C dengan program COMFAA lebih besar nilainya daripada yang dihitung dengan Metode ICAO. Hal ini disebabkan perbedaan dalam menghitung konversi tebal perkerasan, yaitu:

Pada metode ICAO, konversi tebal perkerasan disesuaikan dengan tebal desain perkerasan yang diperlukan dalam setiap lapis perkerasan, sehingga berapapun tebal perkerasan eksisting harus mengikuti tebal perkerasan per lapis, sesuai *range* konversi yang sudah ditetapkan.

Pada Metode FAA, konversi tebal perkerasan dijadikan satu kesamaan lapisan, yaitu *Subbase Course* (P-154), artinya dari *surface course* menjadi *base course* dan *base course* menjadi *subbase course*, begitu juga *base course* menjadi *subbase course*, yang disesuaikan dengan *range* konversi yang sudah ditetapkan.

SARAN

Berdasarkan kesimpulan tersebut disarankan untuk perhitungan nilai PCN sebaiknya menggunakan Metode FAA berdasar AC 150/5335-5C dengan program COMFAA. Hal ini ditujukan untuk meminimalisasi kesalahan akibat ketidakpastian bahan, ketidakpastian kualitas pekerjaan, dan

untuk pendekatan pemeliharaan dalam masa layan.

Saran penelitian lanjutan untuk menyempurnakan hasil penelitian ini, adalah sebagai berikut:

Melakukan penelitian lanjutan dengan kajian banding, untuk perkerasan kaku atau *rigid pavement*.

Melakukan penelitian dengan menambah kajian banding dengan berdasar metode PCA (*Portland Cement Association*) atau dengan cara perhitungan metode Jepang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan rasa syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa dan mengucapkan terima kasih kepada Bapak Heddy R Agah dan Bapak Harmein Rahman yang banyak memberi masukan dan arahan dalam penyusunan penelitian ini dan terima kasih kepada segenap Dewan Redaksi Warta Penelitian dan Pengembangan Kementerian Perhubungan yang membantu diterbitkannya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Avitas Aviation/ Parsons Overseas (USA) Integrated Air Transport Study, 1991.
- A. Tatang Dachlan, M. Sjardanulirwan, 2012, *Kajian Pengaruh Modulus Resilien dan Kepadatan Membal terhadap Kekuatan dan Keawetan Perkerasan Beraspal Panas*, Pusat Litbang Jalan dan Jembatan, PU.
- Boeing, 2009, *Precise Methode For Estimating PCN*, Doc. D6-82203.
- Burmister. DM, 1915, *The General Theory of Stresses & Displacement of Layered System*, *Journal Applied Physic* vol 15.
- E J. Yodder, M. W. Witzak, 1975. *Principles of Pavement Design, Second Edition*.
- Federal Aviation Administration, 2009, *Airport Pavement Design and Evaluation*, AC No: 150/5320-6E, U.S Departement of Transportation, FAA.
- Federal Aviation Administration, 2014, *Standardized Method of Reporting Airport Pavement Strength - PCN*, AC No: 150/5320-5C, U.S Departement of Transportation, FAA.

- Horonjeff Robert, Francis X. McKelvey, 1993. *Perencanaan dan Perancangan Bandar Udara*, Edisi Ketiga, Jilid I.
- Horonjeff Robert, Francis X. McKelvey, 1994. *Planning & Design of Airports*, International Edition.
- Horonjeff Robert, Francis X. McKelvey, William J. Sproule, Seth B. Young, 2010. *Planning & Design of Airports*, Fifth Edition.
- Huang Yang H, 2004, *Pavement Analysis and Design*.
- International Civil Aviation Organisation, 1983, *Part 3 Pavement*, Doc 9157-AN/901 Part 3, Canada, ICAO.
- International Civil Aviation Organisation, 2004, *Volume I Aerodrome Design and Operations*, Annex 14, Canada, ICAO.
- International Civil Aviation Organisation, 2006, *Aerodrome Design Manual, Part 1 Runways*, Annex 14, Canada, ICAO.
- Keputusan Direktur Jenderal Perhubungan Udara Nomor : SKEP/003/I/2005 tentang *Pedoman Teknis Perancangan Rinci Konstruksi Landas Pacu (Runway), Landas Hubung (Taxiway), dan Landas Parkir (Apron) pada Bandar Udara di Indonesia*.
- Keputusan Menteri Perhubungan nomor 457 tahun 2012, tentang *Penetapan Lokasi Bandar Udara Baru di Kecamatan Kertajati, Kabupaten Majalengka, Propinsi Jawa Barat*.
- Keputusan Menteri Perhubungan nomor KM. 5 tahun 2007 tentang *Rencana Induk Bandar Udara Baru di Kabupaten Majalengka, Propinsi Jawa Barat*.
- Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Udara Nomor : KP 29 Tahun 2014 tentang *Manual Standar Teknis dan Operasional Peraturan Keselamatan Penerbangan Sipil – Bagian 139 (Manual of Standard CASR – Part 139) Volume I Bandar Udara (Aerodomes)*.
- Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Udara Nomor : KP 93 Tahun 2015 tentang *Pedoman Teknis Operasional Peraturan Keselamatan Penerbangan Sipil Bagian 139 - 24 (Advisory Circular CASR Part 139 - 24), Pedoman Perhitungan PCN (Pavement Classification Number) Perkerasan Prasarana Bandar Udara*.
- Petunjuk Pelaksanaan Lapis Aspal Beton (Laston), Departemen Pekerjaan Umum, Ditjen Bina Marga, Badan Penerbit PU.
- Ralp Haas, Susan Tighe, Guy Dore, David Hein, 2007, *Mechanistic-Empirical Pavement Design: Evaluation and Future Challenges*, Annual Conference Transportation Association of Canada.