

PERENCANAAN TEBAL LAPIS PERKERASAN RUNWAY, TAXIWAY DAN APRON PADA YOGYAKARTA INTERNATIONAL AIRPORT

Muh. Fajar Bimantoro¹, dan Prima Juanita Romadhona²

¹Alumni Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia

Email: 14511088@students.uui.ac.id

²Staff Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia

Email: 135111103@staf.uui.ac.id

ABSTRACT

The Special Region of Yogyakarta (DIY) has a lot of potential, especially in the fields of tourism and education, so it has a high level of interaction with domestic and foreign regions. This makes Adisutjipto International Airport overloaded so that it is unable to serve flights optimally. Therefore, domestic and international commercial flights were moved from Adisutjipto International Airport to Yogyakarta International Airport (YIA) where in airport construction one of the important things was the design of the airport pavement thickness. This research focus on the pavement planning of Runway, Taxiway and Apron using two methods, namely the FAA method with the help of FAARFIELD and the ICAO method of the United States of America Practice by doing the pavement design using both methods. From the results obtained, there are differences between the two methods due to the ICAO method having to look for Annual departures for one planned aircraft, while in the FAA method with Faarfield, Faarfield designs the thickness of the pavement layers one by one and the thickness of the pavement layers will be determined through cumulative damage or using the Cumulative Damage Factor system or CDF.

Keywords: Runway, Apron, Taxiway, FAA, FAARFIELD, ICAO

PENDAHULUAN

Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) memiliki banyak potensi terutama dari bidang pendidikan dan pariwisata, oleh karena itu Yogyakarta memiliki tingkat interaksi yang tinggi dengan wilayah domestik maupun mancanegara. Hal ini berhubungan dengan dibangunnya Yogyakarta International Airport (YIA) yang disebabkan oleh perpindahan penerbangan komersial domestik maupun internasional dari Bandara Internasional Adisucipto. Alasan utama dipindahkan penerbangan komersial dari Bandara Internasional Adisucipto adalah kelebihan muatan. Bandara Internasional

Adisucipto dirancang untuk dapat menampung penumpang sebesar kurang lebih 1,2 juta sampai dengan 1,5 juta penumpang tiap tahunnya dan saat ini penumpang yang mengunjungi Yogyakarta menggunakan fasilitas udara sudah mencapai 8 juta penumpang tiap tahunnya, sedangkan Yogyakarta International Airport (YIA) dirancang untuk menampung penumpang sebesar 20 juta penumpang tiap tahunnya.

Selain itu alasan lainnya berdasarkan PT Angkasa Pura I (Persero) adalah bandara Internasional Adisucipto sendiri merupakan Civil Enclave milik TNI Angkatan Udara yang sudah dibangun sejak 1938 dan

dirancang untuk penerbangan militer, sehingga panjang runway pada bandara yang memiliki panjang 2.200 meter tidak akan dapat menampung pesawat yang memiliki badan lebar, melakukan pengembangan pada bandara itu sendiri juga sudah tidak dapat dilakukan dikarenakan oleh keterbatasan lahan dan kendala alam. Oleh karena itu sebagai solusi dari permasalahan tersebut dilakukan pembangunan Yogyakarta International Airport (YIA).

Yogyakarta International Airport (YIA) berdiri di tanah seluas 600 hektar dan diperkirakan menelan biaya Rp. 6 triliun. Bandara tersebut akan memiliki terminal seluas 106.500 meter persegi dengan kapasitas 10 juta penumpang per tahun. Selain itu, bandar udara tersebut diperkirakan bakal memiliki hanggar seluas 371.125 meter persegi yang direncanakan sanggup menampung hingga sebanyak 28 unit pesawat berdasarkan PT Angkasa Pura I (Persero). Lahan di sekitar lokasi pembangunan bandar udara digunakan sebagai lahan pertanian oleh sebagian besar warga lokal sekitar.

Dengan dilakukan pembangunan Yogyakarta International Airport (YIA), hal yang menjadi sorotan utama dalam pembangunan bandar udara adalah *Runway*, *Taxiway* dan *Apron* (RTA). RTA merupakan bagian penting dari pembangunan bandara pada bagian airside yang berfungsi untuk memenuhi kebutuhan penumpang serta pesawat yang sedang beroperasi. Penelitian ini secara garis besar akan berfokus pada perencanaan lapis perkerasan *Runway*, *Taxiway* dan *Apron*.

Hasil yang ingin dicapai adalah mendapatkan hasil Perencanaan tebal lapis perkerasan pada *Runway*, *Taxiway*, dan *Apron* yang optimal untuk dilewati oleh pesawat yang akan beroperasi pada Yogyakarta International Airport (YIA).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui tebal lapis perkerasan pada *runway*, *taxiway* dan *apron* dengan umur rencana 20 tahun.

TINJAUAN PUSTAKA

Anis (2016) telah melakukan penelitian analisis perbandingan metode empiris dan metode mekanistik dalam perancangan landasan Bandar Udara Kertajati-Majalengka. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hasil perbandingan dalam perancangan landasan bandar udara dengan menggunakan metode empiris dan mekanistik. 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 computer FAARFIELD (Federal Aviation Administration Rigid and Flexible Iterative Layer Design), sedangkan untuk kajian perhitungan nilai PCN (Pavement Classification Number) dilakukan dengan dua metode yaitu metode ICAO (International Civil Aviation Organisation) dan dengan program computer COMFAA

Djonli (2018) dengan penelitian Desain Perencanaan Tebal Lapis Perkerasan Runway, Taxiway, Apron Bandara Internasional Kertajati, Majalengka, yang mempunyai tujuan untuk mendapatkan tebal lapis perkerasan pada perencanaan Bandara Internasional Kertajati dengan menggunakan tiga metode yaitu US Army Corps Engineer, Asphalt Institute dan Federal Aviation Administration. Hasil dari penelitian ini adalah total tebal perkerasan untuk runway adalah 127 cm (US Army Corps Engineer), 51,90 cm (Federal Aviation Administration), Cross taxiway adalah 70 cm, 54,61 cm, dan 63,62 cm, parallel taxiway adalah 127 cm, 45,62 cm, dan 45,47 cm, apron adalah 81,86 cm, 48,77 cm, 50,80 cm dengan perkerasan kaku untuk metode US Army Corps Engineer dan FAA. Dari hasil tebal lapisan diatas metode FAA memberikan desain yang paling tipis namun terlihat pada rencana cross taxiway pada metode AI memberikan hasil yang lebih tipis dibanding FAA, hal ini terjadi karena metode AI tidak mempertimbangkan

speed dari suatu pesawat yang melambat, karena itu metode FAA menjadi lebih sedikit tebal dari metode AI.

Utama (2006) dengan penelitian analisis struktur perkerasan runway, taxiway, dan apron bandar udara DR. F. L. Tobing menggunakan metode United States of American Practice. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merencanakan tebal perkerasan runway, taxiway dan apron, dengan menggunakan metode United State of American Practice sesuai dengan rencana induk pengembangan bandar udara dengan jangka waktu 20 tahun yang dituangkan dalam rencana jangka pendek/phase I (2003-2012), jangka menengah/Phase II (2012-2022), dan jangka panjang /Phase Ultimate (Pasca 2022). Hasil dari penelitian ini diperoleh nilai ekivalensi tebal total perkerasan sebesar 68,35 cm (27 inch). Kebutuhan tebal untuk F28 Mk4000 (27 inch). Dengan demikian, rancangan struktur perkerasan apron dan taxiway ini akan mampu mendukung pesawat F28 Mk4000 dan pesawat sekelas lainnya.

LANDASAN TEORI

Desain Tebal Lapis Perkerasan Berdasarkan ICAO United States of America Practice

United States of America Practice adalah metode menentukan tebal lapis perkerasan yang berdasarkan pada berat pesawat pada masing-masing konfigurasi roda pesawat, dengan metode ini memungkinkan untuk melakukan evaluasi dari tebal perkerasan berdasarkan kemampuan untuk menahan berbagai macam tipe dan berat pesawat. Dalam melakukan perencanaan perkerasan lentur menggunakan United States of America Practice terdapat beberapa hal yang perlu diketahui yaitu.

1. Daya Dukung Tanah

Parameter digunakan sebagai penunjuk mutu daya dukung tanah dasar dalam perencanaan perkerasan lentur adalah nilai California

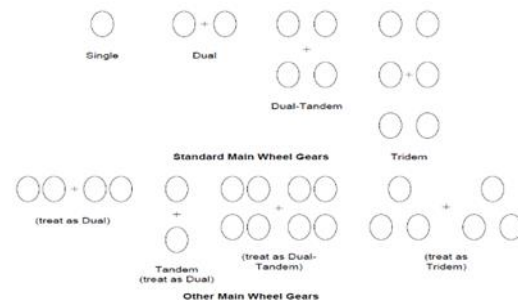
Bearing Ratio (CBR). Tabel 1 di bawah ini menunjukkan kategori tanah dasar yang berdasarkan pada ICAO DMG-27

Tabel 1 Kategori Tanah Dasar Berdasarkan ICAO DMG-27

Kategori Tanah Dasar	CBR
A-High	15%
B-Medium	10%
C-Low	6%
D-Ultra Low	3%

2. Konfigurasi Roda Pesawat

Konfigurasi roda pesawat menunjukkan bagaimana berat pesawat di distribusikan ke tebal lapis perkerasan dan menentukan respon dari tebal perkerasan terhadap beban dari pesawat. Tipe-tipe dari konfigurasi roda pesawat dapat dilihat pada Gambar 1 berikut ini.



Gambar 1 Konfigurasi Sumbu Roda Pesawat

Pesawat yang akan beroperasi di sebuah bandar udara bukan hanya satu jenis pesawat melainkan berbagai jenis pesawat dan memiliki konfigurasi roda pesawat yang berbeda-beda. Untuk mendesain tebal lapis perkerasan konfigurasi roda pesawat harus di konversikan ke satu jenis konfigurasi.

3. Lalu Lintas Pesawat Campuran

Tebal perkerasan landas pacu seringkali dirancang untuk satu jenis tipe pesawat, akan

tetapi pada kenyataannya lalu-lintas pada suatu landas pacu memiliki jenis pesawat yang berbeda-beda dan annual departures yang berbeda-beda juga. Oleh karena itu sama halnya dengan konfigurasi roda pesawat lalu lintas pesawat juga harus dikonversikan untuk mendapatkan annual departures pesawat campuran. Untuk mengkonversikan annual departures pesawat campuran dapat di gunakan rumus sebagai berikut.

$$\text{Log R1} = (\text{Log R2}) \left(\frac{W2}{W1} \right)^{1/2} \quad (1)$$

Dengan:

R1 = Equivalent annual departure pesawat rencana

R2 = Annual departures pesawat-pesawat campuran dinyatakan dalam roda pendaratan pesawat rencana

W1 = Beban roda pesawat rencana

W2 = Beban roda dari pesawat yang ditanyakan

4. Nilai Modulus of Soil Reaction (k)

Nilai k adalah konstanta pada material untuk mendukung perkerasan kaku dan merupakan indikasi nilai bantalan pada material pendukung. Nilai k didapatkan dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$k = E / 26^{0.7788} \quad (2)$$

Dengan:

k = Modulus of Soil Reaction

E = Modulus of Elasticity

4. Menentukan Tebal Lapis Perkerasan Lentur

Perhitungan ketebalan lapis perkerasan didasarkan pada grafik-grafik yang sudah di persiapkan dari ICAO, grafik ini dibuat untuk perhitungan berat pesawat kotor, dimana 95% berat totalnya ditumpu oleh dua roda pendaratan utama. Di dalam menentukan tebal lapis perkerasan harus ditentukan terlebih dahulu pesawat rencana, yaitu yang bebannya menghasilkan ketebalan perkerasan

yang paling besar, pesawat rencana tidak perlu harus yang terberat.

5. Menentukan Tebal Lapis Perkerasan Kaku

Perhitungan ketebalan lapis perkerasan kaku didasarkan pada grafik-grafik tebal lapis perkerasan kaku yang sudah di persiapkan sama seperti pada perkerasan lentur.

PENGUNAAN SOFTWARE FAARFIELD

FAARFIELD merupakan software standar dalam desain tebal perkerasan bandara yang berdasarkan dari AC (Advisory Circular) 150/5320-6F. Versi program yang digunakan dalam desain ini adalah FAARFIELD versi 1.42. Desain perkerasan memiliki umur rencana 20 tahun berdasarkan pada peraturan standar pada desain perkerasan bandara. FAARFIELD dikembangkan oleh FAA berdasarkan dengan hasil percobaan yang dilakukan kurang lebih sejak tahun 1940 sampai dengan sekarang. FAARFIELD dikembangkan dengan tujuan untuk membantu perencana dalam mendesain perkerasan struktur dengan variabel-variabel yang lebih kompleks. Program ini didasarkan dari konsep cumulative damage factor (CDF) dimana distribusi kerusakan yang diberikan dari setiap pesawat pada data lalu lintas campuran ke total kerusakan akan dianalisis secara terpisah, sehingga program ini tidak seharusnya digunakan untuk membandingkan kebutuhan tebal lapis perkerasan untuk setiap pesawat seperti yang dilakukan pada metode AC (Advisory Circular) versi sebelumnya.

FAARFIELD beroperasi dengan menggunakan dua sub-program yaitu LEAF dan NIKE3D_FAA. LEAF adalah program yang beroperasi seperti layaknya Microsoft Windows dynamic link library yang diprogram pada Visual Basic tahun 2005, sedangkan NIKE3D_FAA beroperasi layaknya dynamic link library yang diprogram pada FORTRAN. FAARFIELD versi 1.42 memiliki daftar pesawat-pesawat yang lebih update dari versi sebelumnya, program ini sendiri dikembangkan untuk

melakukan desain tebal lapis perkerasan yang memiliki data lalu lintas pesawat campuran, melakukan desain pada satu tipe pesawat untuk menentukan pesawat rencana tidak diperlukan menggunakan program ini dimana jika desain mendapatkan nilai CDF = 1 maka desain sudah dianggap memuaskan oleh FAARFIELD.

Umur desain yang digunakan sesuai dengan standar FAA yaitu 20 tahun. Proses desain pada metode sebelumnya membutuhkan semua data lalu lintas untuk dikonversikan kedalam satu data lalu lintas pesawat rencana begitu juga dengan annual departures. Pesawat rencananya untuk desain dipilih dari pesawat mana yang memberikan kerusakan terberat berdasarkan beban dan jumlah keberangkatan, sedangkan FAARFIELD tidak mengkonversikan data lalu lintas pesawat campuran ke pesawat rencana melainkan menganalisis kerusakan yang dilakukan terhadap perkerasan pada tiap pesawat dan menentukan tebal lapis perkerasan dari total kumulatif kerusakan.

Pada desain perkerasan FAARFIELD hanya mempertimbangkan keberangkatan dari pada kedatangan dikarenakan perbedaan beban pesawat pada kedatangan yang cenderung lebih ringan dari pada keberangkatan karena pemakaian bahan bakar.

Pada hasil akhir desain untuk mengetahui apakah desain tersebut bisa diterima maka dapat dilihat dari nilai CDF setelah proses desain selesai dilakukan oleh FAARFIELD dimana jika CDF kurang dari 1 untuk perkerasan lentur dan PCC CDF sama dengan 1 untuk perkerasan kaku.

METODE PENELITIAN

Permodelan Struktur

Dalam penelitian ini, Perencanaan struktur tebal perkerasan menggunakan metode ICAO United States of America Practice untuk perhitungan secara manual, dan menggunakan FAARFIELD untuk perhitungan dengan bantuan software. Tabel

2 berikut ini adalah data lalu lintas pesawat yang digunakan dalam perencanaan.

Tabel 2 Data Lalu Lintas Pesawat Yogyakarta International Airport (YIA)

No	Nama	Berat (ton)	Annual Departures
1	A321-200 std	89,4	10
2	A320-100	68,4	10047
3	B737-800	79,243	7409
4	B737-900 ER	85,366	6019
5	A330-300 std	230,9	119
6	B787-9 (Preliminary)	251,744	41
7	A350-900	272,904	1
8	B777-300 ER	352,441	400
9	B747-400	397,801	22
10	B747-400 Belly	397,801	22
11	A380	562	52
12	A380 Belly	562	52

Data yang didapatkan dari PT. Angkasa Pura I kemudian dilakukan analisis perhitungan tebal lapis perkerasan menggunakan software FAARFIELD dan metode United States of America untuk perhitungan secara manual.

Tahapan Pekerjaan

Tahap awal pelaksanaan studi adalah dengan mengumpulkan data sekunder dari PT Angkasa Pura I. Data kemudian dianalisis desain tebal lapis perkerasan menggunakan dua metode yaitu metode FAA menggunakan *Faarfield* dan metode ICAO *United States of America Practice*. Hasil analisis tebal perkerasan dari kedua metode lalu dibandingkan untuk mengetahui perbedaan hasil desain dari masing-masing metode/

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Data Penelitian

Data penelitian pada penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari PT. Angkasa Pura I (Persero). Data-data yang

diperlukan dalam penelitian ini adalah data CBR tanah dasar dan data lalu lintas pesawat yang akan beroperasi pada Yogyakarta International Airport (YIA).

1. Data CBR
Data CBR tanah dasar yang digunakan dalam penelitian ini berdasarkan dari PT. Angkasa Pura I (Persero) adalah menggunakan parameter CBR Subgrade 6%, CBR Subbase 30% untuk Runway, CBR Subbase 27% untuk Taxiway, dan CBR Subbase 35% untuk Apron.
2. Nilai Ksubgrade (Modulus reaction of subgrade)

Dari data CBR di atas maka dapat dihitung nilai Ksubgrade yaitu nilai modulus of soil reaction (k) dan nilai modulus elastisitas (E) sebagai berikut

$$\begin{aligned}
 k &= 26,6926 \times \text{CBR}^{0,7788} \\
 &= 26,6926 \times 6^{0,7788} \\
 &= 115,8228 \text{ pci} \\
 &= 31,4397 \text{ MN/m}^3 \\
 E &= 20,15 \times k^{1,284} \\
 &= 20,15 \times (115,8228)^{1,284} \\
 &= 8998,8419 \text{ psi} = 62,0448 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

3. Annual Growth Pesawat
Berdasarkan data yang diperoleh dari PT. Angkasa Pura I (Persero) annual growth pada pesawat kelas C adalah 3,3% dan untuk pesawat kelas D adalah 9,46%, dimana berdasarkan FAA pesawat kelas C adalah pesawat dengan beban antara 20,5 ton sampai dengan 127,5 ton, dan pesawat kelas D adalah pesawat dengan beban di atas 127,5 ton.

Perhitungan struktur

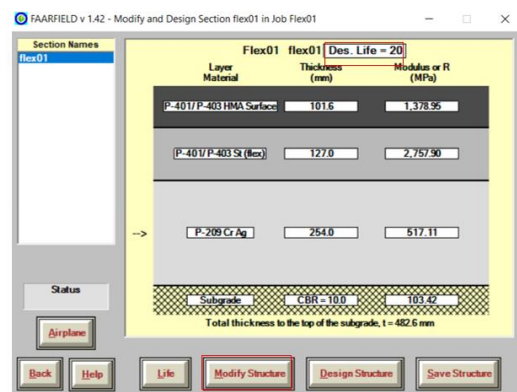
Perhitungan perkerasan struktur dibagi menjadi dua macam yaitu perkerasan lentur untuk bagian runway, dan perkerasan kaku untuk bagian taxiway dan apron. Penulis menggunakan perkerasan kaku dan lentur pada perhitungan ini adalah agar hasil dari

dua metode dapat dibandingkan. Metode yang digunakan dalam perhitungan ini adalah metode ICAO (International Civil Aviation Organization) United States of America Practice secara manual dan Metode FAA dengan menggunakan software FAARFIELD.

Perhitungan Perkerasan Metode FAA dengan menggunakan Software FAARFIELD pada Runway

1. Menghitung Perkerasan Lentur

Dalam gambar 2 dapat dilihat tampilan jendela awal structure. Nilai-nilai yang terdapat digambar adalah nilai yang otomatis dibuat oleh faarfield ketika membuka jendela structure dan dapat dilihat susunan lapis perkerasan yang sudah tersedia dalam section new flexible.



Gambar 2 Jendela awal desain struktur perkerasan

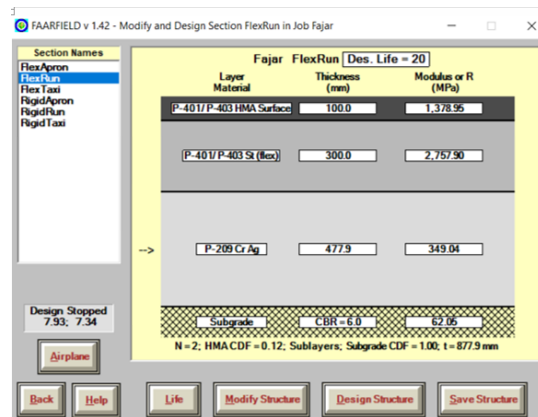
Dalam susunan tersebut terdapat lapisan surface, dimana bahan material yang akan digunakan adalah P-401/P-403 HMA Surface. Bagian base menggunakan bahan P-401/P-403 Stabilized (flex). Pada bagian subbase, bahan yang digunakan adalah P-209 crushed aggregate. Dapat dilihat bahwa umur desain 20 tahun sesuai dengan standar FAA, dan juga untuk mengganti CBR menjadi 6% sesuai dengan parameter tanah dasar yang digunakan dalam desain ini. Untuk melakukan desain penulis dapat memodifikasi tebal perkerasan pada bagian lapisan surface dan base disebabkan oleh pada newflexible

FAARFIELD hanya akan memproses pada bagian subbase dalam hal ini dapat dilihat pada tanda panah yang berada pada lapisan subbase, tebal lapisan lainnya juga nanti akan menyesuaikan pada saat setelah aplikasi melakukan proses run. Untuk memodifikasikan tebal lapisan dapat dilakukan dengan cara mengklik pada bagian modify structure disini penulis mengganti tebal lapisan dengan tebal yang memenuhi tebal minimum untuk perkerasan lentur dimana surface menjadi 100 mm, base menjadi 300 mm.

Setelah selesai melakukan modifikasi bisa langsung mengklik tombol end modify, setelah itu dilanjutkan dengan memasukan data lalu lintas pesawat yang diperoleh dari PT. Angkasa Pura I (Persero) ke FAARFIELD dengan cara mengklik pada tombol airplane.

Memasukan data lalu lintas pesawat sesuai dengan data yang didapatkan, pesawat dimasukan dengan cara mencari jenis pesawat dan seri pesawat pada kolom airplane group dan library airplane kemudian klik tombol add untuk menambahkan pada daftar pesawat kemudian memodifikasi annual departures sesuai dengan data yang diperoleh, setelah semua pesawat sudah dimasukan klik save list untuk menyimpan list pesawat yang nantinya dapat digunakan pada saat desain perkerasan kaku, setelah itu klik back.

Kemudian menjalankan aplikasi dengan mengklik design structure untuk memulai proses desain. Proses desain akan dilakukan secara otomatis dalam beberapa menit dan hasil desain akan ditampilkan di layar.



Gambar 3 Hasil Desain Perkerasan Lentur Runway

Gambar 3 di atas adalah hasil dari desain perkerasan lentur dan didapatkan hasil tebal lapis perkerasan yaitu pada lapisan surface sebesar 100 mm, lapisan base sebesar 300 mm, dan lapisan subbase sebesar 477,9 mm.

Perhitungan Perkerasan Menggunakan Metode ICAO United States of America Practice pada Runway

Untuk metode ini pertama-tama adalah memilih pesawat rencana disini pesawat rencana yang dipilih oleh penulis adalah pesawat A321-200 std yang memiliki gear type dual wheel. Berikut ini adalah tabel konfigurasi roda gear masing-masing pesawat pada Tabel 3 dan juga faktor pengali untuk masing masing konfigurasi roda gear pada Tabel 4.

Tabel 3 Konfigurasi Roda Gear Pesawat

No	Nama	Gear type
1	A321-200 std	Dual Wheel
2	A320-100	Dual Wheel
3	B737-800	Dual Wheel
4	B737-900 ER	Dual Wheel
5	A330-300 std	Dual Tandem
6	B787-9 (Preliminary)	Dual Wheel
7	A350-900	Dual Tandem
8	B777-300 ER	Dual Tandem

9	B747-400	<i>Double Dual Tandem</i>
10	B747-400 Belly	<i>Double Dual Tandem</i>
11	A380	<i>Double Dual Tandem</i>
12	A380 Belly	<i>Double Dual Tandem</i>

Tabel 4 Faktor Pengali Konfigurasi Roda Gear Pesawat

Konversi dari	Ke	Faktor Pengali
<i>Single Wheel</i>	<i>Dual Wheel</i>	0,8
<i>Single Wheel</i>	<i>Dual Tandem</i>	0,5
<i>Dual Wheel</i>	<i>Dual Tandem</i>	0,6
<i>Dual Wheel</i>	<i>Single Wheel</i>	1,3
<i>Dual Tandem</i>	<i>Single Wheel</i>	2,0
<i>Dual Tandem</i>	<i>Dual Wheel</i>	1,7
<i>Double Dual Tandem</i>	<i>Dual Tandem</i>	1,0
<i>Double Dual Tandem</i>	<i>Dual Wheel</i>	1,7

Dengan begitu semua konfigurasi roda pesawat akan dikonversi ke Dual Wheel sehingga bisa mendapatkan annual departures pesawat campuran. Annual departures pesawat campuran dapat didapatkan dengan cara pertama-tama dengan mencari nilai R2 atau annual departures pesawat-pesawat campuran dinyatakan dalam roda pendaratan pesawat rencana, yang berarti semua konfigurasi roda pesawat akan dikonversikan ke konfigurasi roda pesawat rencana yaitu pesawat A321-200 std, konversi roda pesawat dapat dilakukan sebagai berikut.

Pesawat A321-200 std = R2

$R2 = \text{annual departures} \times \text{Faktor pengali} = 10 \times 1 = 10$

Pesawat A330-300 std = R2 = $119 \times 1,7 = 202,3$

Untuk susunan beban pesawat selanjutnya dapat dilihat pada tabel 5. Selanjutnya adalah mencari W2 atau beban roda dari pesawat yang di tanyakan, cara mencarinya adalah sebagai berikut.

Pesawat A321-200 std = W2

$W2 = \text{Beban} \times 0,95 \times 0,25$

$= 89,4 \times 0,95 \times 0,25$

$= 21,2325 \text{ ton} = 21232,5 \text{ kg}$

Pesawat A330-300 std = W2

$W2 = 23 \times 0,95 \times 0,125$

$= 27,4194 \text{ ton} = 27419,4 \text{ kg}$

Untuk pesawat selanjutnya dapat dilihat pada tabel 6. Selanjutnya adalah mencari W1 atau Beban roda pesawat rencana yaitu dengan cara sebagai berikut.

Pesawat A321-200 std = W1

$W1 = \text{Beban} \times 0,95 \times 0,25$

$= 89,4 \times 0,95 \times 0,25$

$= 21,2325 \text{ ton} = 21232,5 \text{ kg}$

Selanjutnya adalah mencari R1 atau equivalent annual departure pesawat rencana yaitu dengan cara sebagai berikut.

Pesawat A330-300 std = log R1

$\log R1 = \log R2 \times ((W2/W1))^{0,5}$

$= \log 10 \times [(27419,4/21232,5)]^{0,5}$

$R1 = 417,365$

Berikut ini adalah tabel 5 Susunan beban pesawat udara maksimum dan Konfigurasi roda pendaratan utama dan tabel 6 Annual departures pesawat campuran

Tabel 5 Susunan Beban Pesawat Udara Maksimum dan Konfigurasi Roda Pendaratan Utama

No	Nama	Berat Maks Pesawat	Gear type	W2		W1
		Ton		Ton	Kg	Kg
1	A321-200 std	89,4	<i>Dual Wheel</i>	21,2325	21232,5	21232,5
2	A320-100	68,4	<i>Dual Wheel</i>	16,245	16245	21232,5
3	B737-800	79	<i>Dual Wheel</i>	18,82	18820	21232,5

4	B737-900 ER	85	Dual Wheel	20,3	20274,4	21232,5
5	A330-300 std	231	Dual Tandem	27,4	27419,4	21232,5
6	B787-9 (Preliminary)	252	Dual Wheel	59,8	59789,2	21232,5
7	A350-900	273	Dual Tandem	32,4	32407,4	21232,5
8	B777-300 ER	352	Dual Tandem	41,9	41852,4	21232,5
9	B747-400	398	Double Dual Tandem	23,6	23619,4	21232,5
10	B747-400 Belly	398	Double Dual Tandem	3,6	23619,4	21232,5
11	A380	562	Double Dual Tandem	3,4	33368,8	21232,5
12	A380 Belly	562	Double Dual Tandem	3,4	33368,8	21232,5

9	B747-400	22	23619,4	21232,5	37,4	45,5961
10	B747-400 Belly	22	23619,4	21232,5	37,4	45,5961
11	A380	52	33368,8	21232,5	88,4	275,506
12	A380 Belly	52	33368,8	21232,5	88,4	275,506
Total Annual Departure Campuran						23559,1

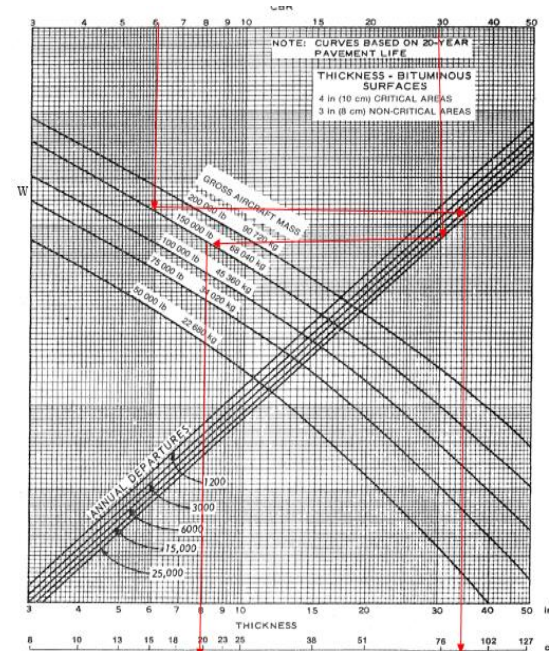
Berdasarkan Tabel 5 di atas Annual Departures campuran yang didapat adalah 23559,1 dan beban pesawat rencana adalah 89,4 ton.

1. Menghitung Perkerasan Lentur

Menghitung perkerasan lentur adalah dengan menggunakan grafik perkerasan lentur untuk konfigurasi roda dual wheel dengan CBR subgrade 6% dan CBR subbase 30%.

Tabel 6 Susunan Beban Pesawat Udara Maksimum dan Konfigurasi Roda Pendaratan Utama

No	Nama	Annual Departures	Beban Roda (W2)	Beban Roda Pesawat Udara Rencana (W1)	R2	R1
			Kg	Kg		
1	A321-200 std	10	21232,5	21232,5	10	10
2	A320-100	10,047	16245	21232,5	10,047	3166,52
3	B737-800	7,409	18820,2	21232,5	7,409	4398,52
4	B737-900 ER	6,019	20274,4	21232,5	6,019	4934,79
5	A330-300 std	119	27419,4	21232,5	20,23	417,365
6	B787-9 (Preliminary)	41	59789,2	21232,5	41	508,591
7	A350-900	1	32407,4	21232,5	1,7	1,9262
8	B777-300 ER	400	41852,4	21232,5	68,0	9479,22



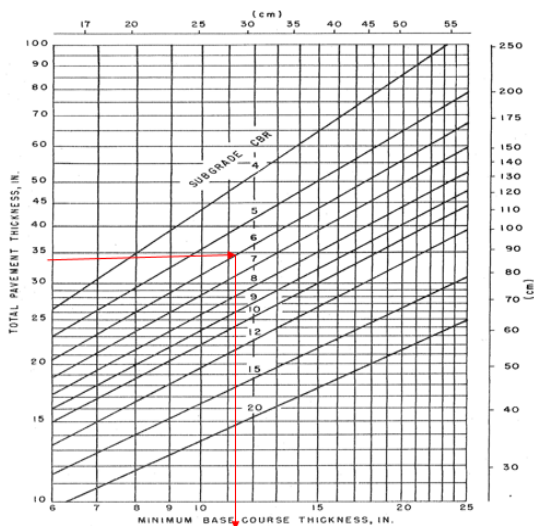
Gambar 4 perhitungan perkerasan lentur grafik dual wheel pada Runway

Berdasarkan dari grafik pada Gambar 4 maka didapatkan tebal total 34,5 inch atau sama dengan 87.6 cm, dan juga dari grafik yang sama dengan menggunakan CBR subbase 30% didapatkan tebal 8 inch atau sama dengan 20,32 cm, maka dari sini kita bisa

mendapatkan tebal subbase dengan cara sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Tebal subbase} &= \text{tebal total} - \text{tebal CBR 30\%} \\ &= 34,5 - 8 = 26,5 \text{ inch} \end{aligned}$$

Tebal lapisan aspal berdasarkan grafik adalah 4 inch atau 10 cm, kemudian tebal lapisan base minimum didapatkan dari grafik minimum base course CBR 6% adalah sebagai berikut.



Gambar 5 minimum base course thickness pada Runway

Dari Gambar 5 di atas didapatkan tebal lapisan base minimum adalah 11,2 inch atau sama dengan 28,5 cm. Untuk memperoleh tebal lapisan base adalah dengan mengurangi tebal CBR 30% dengan tebal aspal sehingga didapatkan tebal lapisan base adalah 4 inch namun karena berdasarkan tebal base minimum adalah 11,2 inch maka kekurangan 7,2 inch dari lapisan diambil dari tebal lapisan subbase sehingga hasil akhir tebal lapis perkerasan lentur adalah lapisan surface setebal 4 inch atau 10 cm, lapisan base setebal 11,2 inch atau 28,5 cm, dan tebal lapisan subbase adalah 19,3 inch atau sebesar 49,1 cm dengan total tebal perkerasan lentur adalah 87,6 cm. Tabel 7 menunjukkan hasil desain tebal lapis perkerasan dengan ICAO, FAARFIELD, dan COMFAA.

PEMBAHASAN

Dari Tabel 7 dapat dilihat bahwa perbedaan hasil dari dua metode memiliki perbedaan antara satu sama lain. Kedua metode menggunakan CBR subgrade spesifikasi yang sama yaitu 6% dan juga menggunakan data lalu lintas pesawat yang sama.

Tabel 7 Hasil Tebal Lapis Perkerasan dengan ICAO, FAARFIELD, dan COMFAA

Metode	RUNWAY		TAXIWAY		APRON	
	Lapisan	Tebal (cm)	Lapisan	Tebal (cm)	Lapisan	Tebal (cm)
COMFAA	Surface	12,7	Surface (PCC)	50	Surface (PCC)	50
	Base	20,32	Stabilized Base	15	Stabilized Base	15
	Subbase	78,49	Base	15	Base	15
	Total	111,51	Total	80	Total	80
	Surface	10	Surface (PCC)	50	Surface (PCC)	50
ICAO	Base	28,5	Base	22	Base	24
	Subbase	49,1				
	Total	87,6	Total	72	Total	74
	Surface	10	Surface (PCC)	50,2	Surface (PCC)	49,97
FAARFIELD	Base	30	Base	22	Base	24
	Subbase	47,79				
	Total	87,79	Total	72,2	Total	73,97

Pada metode ICAO United States of America Practice perhitungan menggunakan grafik atau secara manual dimana pertama dengan

mencari nilai annual departures dari pesawat campuran kemudian mencari tebal lapis perkerasan pada grafik tebal lapis perkerasan, sedangkan untuk perhitungan menggunakan FAARFIELD penulis hanya perlu memasukkan data lalu lintas pesawat campuran ke menu data pesawat yang disediakan oleh FAARFIELD dan kemudian memodifikasi tebal lapisan dan memulai proses desain sehingga didapatkan tebal lapis perkerasan.

Perbedaan hasil yang didapatkan dari kedua metode pada perkerasan lentur adalah karena pada metode ICAO total tebal perkerasan diambil dari grafik sedangkan pada faarfield berdasarkan hasil design akhir yang didapatkan setelah running design selain itu kita bisa memodifikasi lapisan base pada faarfield dan pada faarfield ketebalan minimum pada lapisan base adalah 8 inch atau 21 cm, sedangkan pada metode ICAO ketebalan minimum pada lapisan base didapatkan dari grafik tebal minimum lapisan base yang berdasarkan dari nilai CBR subgrade dan tebal lapis perkerasan total yang didapatkan sebelumnya. Sehingga hasil dari perhitungan tebal lapis perkerasan lentur sesuai dengan tabel-tabel diatas. Perbedaan hasil perhitungan tebal lapis perkerasan kaku adalah karena pada metode ICAO penulis mengasumsikan nilai modulus elastisitas (E) dan $f'c$ dimana penggunaan cement treated base course (CTB) di bawah permukaan perkerasan kaku harus mempunyai kuat tekan ($f'c$) minimal 500 psi dan maksimal 1.000 psi. Untuk modulus Elastisitas (E) yang dianjurkan adalah 600.000-2000.000 psi yang nantinya akan mendapatkan nilai modulus of soul reaction (k) yang akan digunakan untuk mendapatkan tebal slab beton pada lapisan surface, sedangkan pada FAARFIELD langsung dihitung oleh FAARFIELD sendiri sehingga nilai yang FAARFIELD masukkan bisa berbeda dari yang Penulis masukkan sehingga ada perbedaan tidak jauh pada hasil perhitungan tebal lapis perkerasan kaku.

Hasil yang didapatkan juga berbeda dari hasil tebal perkerasan eksisting. Hasil tebal perkerasan eksisting didesain menggunakan software COMFAA dimana software ini merupakan software dibuat sebelum FAARFIELD sehingga konsep yang digunakan sedikit berbeda seperti yang sudah tertera pada AC 150/5320-6F bahwa pada konsep sebelumnya harus mencari beban pesawat rencana dan desain akan berdasarkan pada beban pesawat rencana, sedangkan FAARFIELD melakukan analisis secara terpisah terhadap tiap pesawat dan menentukan tebal lapis perkerasan dari total kumulatif kerusakan, Hasil data eksisting yang penulis dapatkan tidak memperinci hasil tebal laspis perkerasan digunakan untuk Runway, Taxiway dan Apron sehingga disini penulis mengasumsikan bahwa data tersebut yang digunakan untuk Runway, Taxiway dan Apron.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Setelah melakukan penelitian ini dengan melakukan perencanaan tebal lapis perkerasan untuk runway, taxiway, dan apron maka didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Metode FAA dengan menggunakan bantuan FAARFIELD lebih memiliki keunggulan pada hasil desain maupun kemudahan dalam melakukan perhitungan desain dimana pada FAARFIELD hanya diperlukan untuk memasukkan data yang diperlukan dan struktur dapat dimodifikasi sesuai kebutuhan dan juga dengan menggunakan system *Cumulative Damage Factor* (CFD) dapat menentukan hasil desain yang lebih baik, sedangkan dibandingkan dengan menggunakan metode ICAO dimana perlu dilakukannya konversi untuk roda gear pesawat dan melakukan *trial and error* untuk menentukan pesawat rencana pada *annual departures*. Pada

- COMFAA dimana metode yang digunakan sama yaitu metode FAA namun COMFAA didasarkan pada *advisory circular* terdahulu sedangkan FAARFIELD menggunakan *advisory circular* terbaru sehingga hasil desain dari FAARFIELD lebih unggul dibandingkan hasil dari COMFAA
2. Hasil desain perencanaan perkerasan lentur metode FAA pada lapisan *surface*, *base* dan *subbase* adalah 10 cm, 30 cm, 47,79 cm, tebal total 87,79 cm pada *runway*, 10 cm, 27 cm, 51,77 cm, tebal total 88,77 cm pada *taxiway*, 10 cm, 33 cm, 43,19 cm, tebal total 86,19 cm pada *Apron*. Menggunakan metode ICAO (*United States of America Practice*) adalah 10 cm, 28,5 cm, 49,1 cm, tebal total 87,6 cm pada *runway*, 10 cm, 28,5 cm, 49,1 cm tebal total 87,6 cm pada *taxiway*, 10 cm, 28,5 cm, 49,1 cm, tebal total 87,6 cm pada *apron*.
 3. Hasil desain perencanaan perkerasan kaku metode FAA pada lapisan *surface*, dan *subbase* adalah 50,24 cm, 20 cm, tebal total 70,24 cm pada *runway*, 50,2 cm, 22 cm, tebal total 72,2 cm pada *taxiway*, 49,97 cm, 24 cm, tebal total 73,97 cm pada *apron*. Menggunakan metode ICAO (*International Civil Aviation Organization*) *United States of America Practice* adalah 50 cm, 20 cm, tebal total 70 cm pada *runway*, 50 cm, 22 cm, tebal total 72 cm pada *taxiway*, 50 cm, 24 cm, tebal total 74 cm pada *apron*.

Saran

Setelah melakukan penelitian ini berikut adalah beberapa saran yang diajukan untuk penelitian selanjutnya.

1. Penelitian dapat dikembangkan untuk mengetahui lebih dalam tentang metode-metode yang digunakan untuk melakukan desain pada *runway*, *taxiway*, dan *apron*.

2. Penelitian ini juga dapat dikembangkan untuk mengetahui penggunaan metode dan konsep yang lebih mendalam pada FAARFIELD.

DAFTAR PUSTAKA

- Anis, M. 2016. Analisis Perbandingan Metode Empiris dan Metode Mekanistik dalam Perancangan Landasan Bandar Udara (Studi Kasus Bandar Udara Kertajati-Majalengka). *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*. Majalengka.
- Djonli, Y. 2018. Desain Perencanaan Tebal Lapis Perkerasan Runway, Taxiway, Apron Bandara Internasional Kertajati, Majalengka. *Jurnal Akademia*. Majalengka.
- FAA, 1995. *Advisory Circular Doc No. AC 150/5320-6D (Airport Pavement Design and Evaluation)*.
- FAA, 2009. *Advisory Circular Doc No. AC 150/5320-6E (Airport Pavement Design and Evaluation)*.
- FAA, 2016. *Advisory Circular Doc No. AC 150/5320-6F (Airport Pavement Design and Evaluation)*.
- International Civil Aviation Organization (ICAO), 2017. *Annex 14 Aerodromes Seventh Edition*.
- International Civil Aviation Organization (ICAO), 1983. "Aerodrome Design Manual", Part 3 Pavements, Second Edition.
- Utama, D. 2006. Analisis Struktur Perkerasan Runway, Taxiway, dan Apron Bandar Udara DR. F. L. Tobing Menggunakan Metode United States of American Practice. *Jurnal Sains dan Teknologi*. Sibolga.