

Studi Tebal dan Kekuatan Perkerasan *Runway* dengan *Software* COMFAA pada *Yogyakarta International Airport*

Study of Thickness and Strength of the Runway Pavement using COMFAA Software at Yogyakarta International Airport

Fajar Rahmawati, Anita Rahmawati

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Abstrak. Bandar Udara Internasional Yogyakarta (YIA) merupakan bandara baru sebagai pangkalan transit internasional untuk kawasan Yogyakarta dan sekitarnya yang direncanakan mampu melayani pesawat dengan ukuran besar. Untuk kenyamanan dan keselamatan penerbangan maka runway harus mampu menahan beban roda pesawat yang akan dilayani di bandara. Tujuan penelitian ini adalah mendesain ulang dan mengetahui ketahanan terhadap desain perkerasan dengan menggunakan metode FAA dan *software* COMFAA. Pesawat rencana yang digunakan adalah Boeing 747-400ER berdasarkan konfigurasi roda pendaratan. nilai CBR tanah dasar sebesar 6% berdasarkan data sekunder dari PT. Angkasa Pura I. didapatkan nilai *Aircraft Classification Number* (ACN) 77,8 dan *Pavement Classification Number* (PCN) 94,9. Nilai PCN > ACN, mengindikasikan kondisi struktur perkerasan mampu menerima beban semua jenis pesawat yang direncanakan yang akan dilayani oleh landas pacu.

Kata kunci : *Federation Aviation Administration, Software COMFAA, ACN-PCN.*

Abstract. *Yogyakarta International Airport (YIA) is a new airport as an international transit base for the Yogyakarta and surrounding areas which is planned to be able to serve large-sized aircraft. For flight comfort and safety, the runway must be able to withstand the weight of the aircraft wheels to be served at the airport. The purpose of this study is to redesign and determine the resistance to pavement design using the FAA method and COMFAA software. The planned aircraft used was the Boeing 747-400ER based on the landing gear configuration. subgrade CBR value of 6% based on secondary data from PT. Angkasa Pura I, obtained the value of Aircraft Classification Number (ACN) 77,8 and Pavement Classification Number (PCN) 94,9. PCN value > ACN value, indicates the condition of the pavement structure is able to accept the load of all types of aircrafts which planned to be served by the runway.*

Keywords : *Federation Aviation Administration, Software COMFAA, ACN-PCN*

1. Pendahuluan

Daerah Istimewa Yogyakarta merupakan salah satu kota tujuan wisata terbesar di Indonesia dan destinasi wisata terkemuka di dunia. Menurut Badan Pusat Statistik Provinsi D.I.Y pada tahun 2017 jumlah kunjungan wisatawan domestik atau internasional ke Daerah Istimewa Yogyakarta yang mendarat di Bandar Udara Adi Sutjipto tercatat ada 7,8 juta penumpang, padahal Bandar Udara Adi Sutjipto merupakan milik TNI Angkatan Udara yang hanya memiliki kapasitas 1,8 juta penumpang per tahun (BPS,2017)

Keterbatasan luas runway dan jumlah parking stands pesawat menjadi kendala antrian pesawat untuk melakukan landing di Bandar Udara Adi Sutjipto. Dengan kondisi runway yang over capacity dan lahan yang tidak dapat diperluas lagi telah ditetapkan untuk

membangun bandara baru di pesisir selatan Kecamatan Temon, Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) yang populer dengan sebutan New Yogyakarta International Airport (YIA) diawali dengan penandatanganan MOU antara President Director PT. Angkasa Pura I (Tommy Soetomo) dan Gubernur DIY (Sri Sultan Hamengku Buwono X) di Kepatihan, Yogyakarta pada tanggal 11 Mei 2011 yang menegaskan tekad bersama kedua pihak untuk mengoptimalkan kapasitas dan modernisasi Bandara Adi Sutjipto serta melakukan studi kelayakan pembangunan bandara baru (Satker YIA,2019).

Runway atau landasan pacu adalah area persegi dipermukaan bandara yang disiapkan untuk take off dan landing pesawat, dalam merancang runway (landasan pacu) diatur

secara ketat mengenai panjang, lebar, orientasi (arah), konfigurasi, kemiringan/kelandaian, dan ketebalan perkerasannya. Landasan pacu merupakan hal yang sangat penting didalam Bandar Udara, sehingga perencanaan tebal perkerasan harus diperhitungkan sesuai dengan standar yang berlaku. Struktur perkerasan bandara berbeda dengan struktur-struktur perkerasan pada jalan biasa, karena beban berbeda sesuai jenis dan tipe pesawat yang akan menggunakan bandara dan, sumbu standar berbeda dengan jalan pada umumnya. Oleh karena itu, maka perlu untuk menganalisa rencana tebal lapis perkerasan pada Bandar Udara Internasional Yogyakarta (YIA). Kekuatan perkerasan runway atau landasan pacu dinyatakan dalam Pavement Classification Number atau disingkat PCN. Nilai PCN ini harus lebih besar dari nilai ACN (Aircraft Classification Number). ACN adalah 'nilai beban' dari suatu pesawat. Masing-masing pesawat memiliki nilai ACN yang berbeda satu dengan lainnya.

Pada proyek pembangunan bandar udara internasional Yogyakarta perhitungan tebal perkerasan lentur (*flexible pavement*) landasan pacu menggunakan metode FAA (Federal Aviation Administration) dengan jenis landasan satu jalur (tunggal) dan analisis kekuatan nilai Pavement Classification Number (PCN) menggunakan software COMFAA, dimana nilai PCN tidak boleh lebih kecil dibanding nilai Aircraft Classification Number (ACN) pada pesawat rencana. Pesawat yang beroperasi di Bandar Udara Internasional Yogyakarta (YIA) bervariasi dan mempengaruhi nilai ACN dari masing-masing pesawat tersebut, pada Tugas Akhir ini direncanakan untuk menggunakan jenis pesawat Boeing B747-400ER sebagai salah satu tipe pesawat jumbo jet berbadan lebar yang ada di dunia yang dapat landing di Bandar Udara Internasional Yogyakarta (YIA).

2. Landasan Teori

Triwibowo (2014) melakukan perbandingan metode perencanaan perkerasan kaku pada *apron* dengan metode FAA, PCA, dan LCN pada Bandar Udara Juanda. Berdasarkan hasil analisa dan pembahasan disimpulkan desain tebal struktur perkerasan kaku untuk metode LCN memberikan hasil 44

cm, untuk metode FAA 33,5 cm, dan untuk metode PCA sebesar 32,5 cm. Mengingat perencanaan tebal perkerasan bandar udara dapat dihitung dengan berbagai metode, oleh

Sari *et al.* perencanaan tebal perkerasan lentur (*flexible pavement*) landas pacu (*runway*) pada Bandar Udara Husein Sastranegara, Bandung dengan menggunakan metode ICAO (ACN-PCN) dan *Software* FAARFIELD, menyatakan bahwa tebal perkerasan landas pacu perlu diitngkatkan baik secara perhitungan grafis ataupun analisis. FAARFIELD mempunyai hasil perhitungan perkerasan yang berbeda jauh dari kedua nilai perkerasan dari metode ACN-PCN. Tebal perkerasan terbesar pada potongan D-D hanya mencapai 33,10 dengan tebal *overlay* yang dibutuhkan hanya sebesar 50,8 mm.

Bethary, Pradana, dan Basidik (2015) menyebutkan bahwa perkerasan pada runway, taxiway, apron pada Bandar Udara Soekarno Hatta dapat dilakukan analisa kekuatannya dengan menggunakan metode ICAO (ACN-PCN) dan menentukan pesawat rencana terbesar yaitu Airbus A-380, disimpulkan bahwa Bandar Udara Soekarno Hatta mampu menahan berat pesawat Airbus A-380, hal ini dapat dilihat dari nilai grafik sebesar 80.000 lbs, sedangkan berat yang dihasilkan sedangkan berat yang dihasilkan oleh pesawat Airbus A-380 sebesar 57.00 lbs.

Mustakim dan Risfadiyah (2018) melakukan analisa dan evaluasi *pavement apron* dengan menggunakan metode FAA pada *apron* Bandar Udara Kalimantan Berau didapat data tebal perkerasan kaku dengan umur rencana 10 tahun sebesar 15 inch (38,10 cm) dan umur rencana 5 tahun sebesar 15 inch (38,10 cm) dengan menggunakan pesawat rencana Airbus A300 dengan jumlah *annual departure* lebih kecil dari 1200.

Seno dan Ahyundari (2015) menggunakan *software* COMFAA evaluasi perbandingan nilai ACN-PCN pada perkerasan *runway*, *taxiway* dan *apron* bandar udara Juanda nilai ACN lebih besar 7%-50% dari PCN perkerasan kaku pada pesawat B744, B772 dan B773, dan ACN lebih besar 6%-25% dari PCN perkerasan lentur pada pesawat A332, A333, B744, B772 dan B773.

Intari *et al.* (2016) pada bandar udara internasional Husein Sastranegara Bandung

memiliki tebal perkerasan eksisting sebesar 100 cm, pesawat rencana Boeing 787-9 memiliki nilai ACN sebesar 87/F/C/X dengan *software* COMFAA didapatkan nilai PCN sebesar 50/F/C/X/T, karena nilai PCN kurang dari ACN maka dilakukan analisis perhitungan ulang dengan metode CBR didapatkan tebal perkerasan sebesar 127 cm.

Sanjaya (2016) dalam *kurva jurnal s mahasiswa* melakukan analisis perbandingan perhitungan tebal perkerasan lentur pada landas pacu Bandar Udara Samarinda Baru dengan menggunakan 3 metode yaitu, metode CBR,LCN,dan FAA. Hasil perhitungan menggunakan metode CBR didapatkan tebal total 66cm dengan *surface* = 15 cm, *base coarse* = 28 cm, *subbase coarse* = 23 cm, sedangkan untuk metode LCN didapatkan tebal total 45 cm dengan tebal *surface* = 11 cm, *base coarse* = 18 cm, *subbase coarse* = 16 cm, dan dengan metode FAA didapatkan tebal perkerasan total 72 cm dengan tebal *surface* = 11 cm, *base coarse* = 33 cm, *subbase coarse* = 28 cm. Dari hasil perhitungan 3 metode tersebut dapat disimpulkan adanya perbedaan hasil tebal total perkerasan, untuk penggunaan pada kondisi eksisting dapat ditentukan dengan mempertimbangkan kebutuhan, prioritas,dan fungsi perkerasan tersebut.

Dengan menggunakan metode FAA untuk menganalisa tebal perkerasan lentur landas pacu Bandar Udara Internasional Lombok (BIL) yang direncanakan untuk dilewati oleh pesawat jenis B 739 dengan menggunakan metode FAA telah didapatkan tebal perkerasan ; 4 inch untuk *surface*, 10,6 inch untuk lapisan *base course*, dan 31,4 inch untuk lapisan *subbase course* (Prana, Dhyani dan Dhyani (2018).

Tebal perkerasan lentur (*flexible pavement*) landas pacu (*runway*) Bandar Udara Sultan Mahmud Badaruddin II Palembang, oleh Purwanto dan Sunandar (2019) didapatkan tebal perkerasan *runway* sebesar 78,04 cm, *taxiway* sebesar 76,23 cm, dan *apron* sebesar 76,48 cm. Feranu *et al.* (2016) mengatakan bahwa evaluasi tebal perkerasan menggunakan *software* COMFAA dengan pesawat kritis B737-900, tebal perkerasan sebesar 75,7 inci dan CBR sebesar 5,1 % didapatkan seluruh nilai PCN lebih besar dari nilai ACN.

Wahba (2017) mengevaluasi dampak dari pesawat besar di Bandar dengan armada pesawat udara Mesir dan menggunakan perangkat lunak COMFAA, Atas dasar hasil penelitian ini, disimpulkan bahwa, pernyataan dalam ICAO "Jumlah annual departures tidak boleh melebihi sekitar 5 persen dari total gerakan pesawat tahunan" harus dievaluasi kembali karena banyak faktor sebagai besar baru jenis pesawat, keberangkatan tahunan dan karakteristik tanah yang pengurangan tinggi dalam kehidupan trotoar yang memiliki rata 8,2% dari rencana desain 20 tahun dan pernyataan dalam ICAO "Nomor klasifikasi pesawat (ACN) tidak melebihi 10 persen di atas nomor klasifikasi perkerasan yang didapatkan (PCN)".

Ahsan dan Hasan (2016) juga mengevaluasi perkerasan landasan pacu menggunakan *software* COMFAA 3.0 dengan rencana pesawat kritis B777-300ER dan CBR tanah dasar sebesar 7% didapatkan nilai ACN sebesar 89,3 dan PCN sebesar 93,1. Transportasi udara memainkan peran penting dalam pertumbuhan ekonomi di Bangladesh. Bandara Bangladesh saat ini menampung pesawat berbadan lebar seperti Boeing 777, dan diharapkan bahwa operasi pesawat berbadan lebar akan meningkat secara signifikan di masa depan. Dalam rangka untuk mengevaluasi kekuatan trotoar landasan pacu bandara, perangkat lunak COMFAA 3,0 digunakan dalam penelitian ini. Hasilnya menunjukkan bahwa nilai ACN lebih besar dari PCN, hasil penelitian tersebut harus dievaluasi ulang karena ICAO menyebutkan nilai PCN harus lebih besar 10% dari nilai ACN pesawat namun hasilnya memiliki rata-rata 8,2%.

Bandar Udara

Menurut ICAO *Annex* 14 Tahun 2013, Bandar Udara adalah wilayah tertentu di darat atau air (termasuk bangunan, instalasi, dan peralatan) yang dimaksudkan untuk digunakan, baik seluruhnya atau sebagian, untuk kedatangan, keberangkatan, dan pergerakan darat pesawat.

Menurut FAA AC 150/5300-23A Tahun 2014, Bandar Udara merupakan suatu wilayah di daratan yang digunakan atau ditujukan untuk pendaratan dan lepas landas pesawat, termasuk bangunan-bangunan dan

fasilitasnya bila tersedia. Pesawat Udara adalah setiap mesin atau alat yang dapat terbang di atmosfer karena gaya angkat reaksi udara, tetapi bukan karena reaksi udara terhadap permukaan bumi yang digunakan untuk penerbangan.

Menurut Peraturan Menteri 56 Tahun 2015, Bandar Udara adalah kawasan di daratan dan/atau perairan dengan batas-batas tertentu yang digunakan sebagai tempat Pesawat Udara mendarat dan lepas landas, naik turun penumpang, bongkar muat barang, dan tempat perpindahan intra dan antarmoda transportasi, yang dilengkapi dengan fasilitas keselamatan dan keamanan penerbangan, serta fasilitas pokok dan fasilitas penunjang lainnya.

Menurut Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Udara Tahun 2005, Bandar Udara adalah lapangan terbang yang dipergunakan untuk mendarat dan lepas landas pesawat udara, naik turun penumpang, dan / atau bongkar muat kargo dan / atau pos, serta dilengkapi dengan fasilitas keselamatan penerbangan dan sebagai tempat perpindahan antar moda transportasi.

Landasan Pacu / Runway

Salah satu fasilitas yang paling penting di bandar udara adalah *runway*, tanpa perencanaan dan pengelolaan *runway* dengan baik pesawat tidak akan dapat menggunakan bandar udara. Menurut ICAO *Annex 14* Tahun 2013, *Runway* atau landasan pacu adalah sebuah wilayah berbentuk persegi panjang pada permukaan tanah bandar udara yang disiapkan untuk pesawat lepas landas dan mendarat. Panjang minimum yang diperlukan untuk pesawat lepas landas adalah pada kondisi berat lepas landas maksimum, pada permukaan laut, pada onisi, atmosfer, masih terdapat udara, dan pada kemiringan landas pacu 0 %.

Karakteristik Pesawat Terbang Rencana

Pesawat *jumbo jet* yang beroperasi di Bandar Udara Internasional Yogyakarta adalah Boeing 747-400. Boeing 747-400 merupakan sebuah pesawat jet berbadan lebar dibuat oleh *Boeing Commercial Airplanes* yang memiliki tipe roda pendaratan *double dual tandem*, dapat mengangkut hingga 410 penumpang dan memiliki berat lepas landas maksimum sebesar 877.001,084 lbs (Boeing,2019).

Tabel 1. Data Spesifikasi Pesawat Boeing 747-400

(The Boeing Aircraft Company, 2019)

<i>Seats</i>	410 seats
<i>Overall Length</i>	70,6 m
<i>Wing Span</i>	64,9 m
<i>Height</i>	19 m
<i>Typical Cruise Speed</i>	908 km/h
<i>Maximum Take Off Weight</i>	877.001,084 lbs
<i>Engines</i>	4 Pratt & Whitney PW4056
<i>Thrust of Engine</i>	163.300 lbs
<i>Maximum Fuel Capacity</i>	216.840 liters

Aircraft Classification Number (ACN)

ACN adalah nilai yang menyatakan efek *relative* pesawat rencana pada landasan pacu pada kategori tertentu. Nilai ACN berfungsi sebagai parameter design dan analisa kekuatan pada perencanaan perkerasan bandar udara. Nilai ACN tidak diperbolehkan lebih besar dari nilai PCN landasan pacu itu sendiri.

Pavement Classification Number (PCN)

PCN adalah standar organisasi penerbangan sipil internasional (ICAO) yang digunakan untuk menunjukkan kekuatan landasan pacu. Menurut FAA AC 150/5335-5, PCN adalah angka yang menyatakan kapasitas kemampuan lapisan perkerasan dalam menopang beban pesawat yang direncanakan. FAA *Advisory Circular* (2014) menyebutkan bahwa nilai PCN dapat membantu memastikan perencanaan perkerasan landasan pacu dan mendapatkan hasil yang sesuai dengan peraturan FAA yang berlaku juga dapat merencanakan tebal perkerasan dengan umur perkerasan yang ditetapkan. Perkerasan lentur (*flexible pavement*) menurut FAA (2010) dikategorikan menjadi 4:

1. *High Strength* : CBR 15
(nilai CBR diatas 13 %)
2. *Medium Strength* : CBR 10
(nilai CBR antara 8% - 13%)
3. *Low Strength* : CBR 6
(nilai CBR antara 4% - 8%)
4. *Ultra Low Strength* : CBR 3
(nilai CBR dibawah 4%)

Federal Aviation Administration (FAA)

Federal Aviation Administration (FAA) adalah sebuah badan pemerintahan Amerika Serikat yang memiliki kewenangan untuk mengatur aspek penerbangan sipil di negara tersebut dan juga melalui perairan internasional di sekitarnya. Kewenangan FAA meliputi pembangunan dan pengoperasian bandar udara, manajemen lalu lintas udara, sertifikasi personil dan pesawat, dan perlindungan asset AS selama penerbangan

Metode FAA

Metode FAA adalah metode yang paling umum digunakan untuk perencanaan perkerasan lentur (*flexible pavement*) lapangan terbang yang dikembangkan oleh Federal Amerika dari pengembangan metode CBR yang sebelumnya. Jenis dan nilai kekuatan tanah dasar (*subgrade*) sangat mempengaruhi analisa perhitungan menggunakan metode FAA. Perencanaan tebal perkerasan menggunakan metode FAA didasarkan pada grafik-grafik yang dirancang oleh FAA, langkah-langkah dalam menentukan tebal perkerasan lentur (*flexible pavement*) antara lain:

- a) Mencari data pesawat, pertumbuhan, dan pergerakan pesawat yang beroperasi (*Annual Departure*) di bandar udara tersebut.
- b) Menentukan pesawat rencana : dapat digunakan pesawat beban yang paling besar (MTOW).
- c) Menentukan nilai CBR *subgrade* dan *subbase course*.
- d) Menentukan tipe roda pendaratan pesawat.

Software COMFAA

COMFAA 3.0 merupakan aplikasi *software* yang dikeluarkan oleh *Federal Aviation Administration (FAA)* yang dapat digunakan untuk menganalisa kekuatan perkerasan lentur/kaku sebuah bandar udara dengan data tebal perkerasan yang sudah direncanakan sebelumnya. *Software* COMFAA 3.0 dapat *dirunning* dengan cara memasukkan data lalu lintas pesawat rencana, ketebalah perkerasan rencana, dan memasukkan nilai ACN-PCN.

COMFAA berisi data internal pesawat yang mencakup sebagian pesawat komersial dan militer AS yang saat ini beroperasi, data

internal pesawat disediakan langsung oleh produsen pesawat. Karakteristik standar pesawat pada data internal mewakili kondisi standar ICAO untuk perhitungan ACN. Data eksternal pesawat yang ada pada COMFAA dapat diubah karakteristiknya, yang memungkinkan pengguna untuk memodifikasi pesawat (*Federal Aviation Administration, 2014*).

3. Metode Penelitian

Tahap awal untuk melakukan perencanaan adalah menentukan suatu permasalahan sehingga akan dapat ditemukan solusi penyelesaian untuk masalah tersebut, identifikasi masalah adalah peninjauan pada pokok masalah untuk menentukan sejauh mana pembahasan masalah tersebut dilakukan. Tahap pengumpulan data sekunder didapatkan dari beberapa instansi yaitu PT Angkasa Pura I dan FAA, lalu dilakukan tahap analisa data dengan menggunakan metode yang ditentukan. Dari data sekunder dapat dilakukan tahap perhitungan perkerasan lentur (*flexible pavement*) landas pacu (*runway*) menggunakan metode FAA dengan cara menentukan jenis pesawat rencana, beban roda pendaratan utama pesawat rencana, menghitung kedatangan tahunan ekuivalen pesawat (EAD), lalu menentukan tebal perkerasan total yang dibutuhkan.

Analisa Tebal Perkerasan Runway dengan Metode FAA

- a) Menentukan pesawat rencana

Dalam perencanaan landas pacu / *runway* suatu Bandar udara perlu ditentukan pesawat rencana karena banyak jenis pesawat yang beroperasi di Bandar Udara Internasional Yogyakarta dan pesawat-pesawat tersebut memiliki bobot dan konfigurasi roda pendaratan yang berbeda-beda. Pemilihan pesawat rencana dapat diasumsikan dengan pesawat yang berbobot paling-pbesar karena nilai ACN pesawat berbobot paling besar tersebut sudah dapat mewakili pesawat lainnya yang memiliki nilai ACN lebih kecil, karena menurut ICAO / *International Civil Aviation Organization* (2013) persyaratan perencanaan

landas pacu menggunakan perkerasan lentur / *flexible pavement* yaitu nilai PCN (*Pavement Classification Number*) dari hasil perhitungan tebal perkerasan lentur tersebut harus lebih besar dari nilai ACN pesawat rencana ($PCN > ACN$).

Namun penentuan pesawat rencana juga tidak hanya berasumsi yang berbobot paling besar dan berbadan lebar (*jumbo jet*), tetapi juga dapat menggunakan pesawat rencana dengan jumlah jadwal penerbangan (*annual departure*) terbanyak di Bandar udara tersebut. Pada perencanaan ini penulis menggunakan data pergerakan pesawat di Bandar Udara Internasional Yogyakarta pada tahun 2019 satu jenis pesawat rencana yaitu Boeing B-747 400 ER karena merupakan pesawat *jumbo jet*.

Tabel 2. Data *Annual Departures* Bandara YIA

No	Aircraft Name	Gross Wt (tonnes)	MTOW (kg)	Annual Departures
1	A321-200 std	89.4	89400	10
2	A320-100	68.4	68400	10047
3	B737-800	79.243	79243	7409
4	B737-900 ER	85.366	85366	6019
5	D-200	88.314	88314	5567
6	A330-300 std	230.9	230900	119
7	B787-9 (Preliminary)	251.744	251744	41
8	A350-900	272.904	272904	1
9	B777-300 ER	352.441	352441	400
10	B747-400	397.801	397801	22
11	B747-400 Belly	397.801	397801	22
12	A380	562	562000	52
13	A380 Belly	562	562000	52

b) Menghitung *Equivalent Annual Departure*

$$\text{Rumus : } \log R_1 = \log R_2 \times \left(\frac{W_2}{W_1}\right)^{1/2}$$

R_2 = *annual departures* x faktor pengali

$$W_2 = 0,95 \times \text{MTOW} \times \left(\frac{1}{n}\right)$$

$$W_1 = 0,95 \times \text{MTOW} \text{ pesawat rencana} \times \left(\frac{1}{n}\right)$$

dengan :

R_1 = *Equivalent Annual Departure Rencana*

R_2 = *Equivalent Annual Departure*, jumlah *annual departure* dari semua pesawat yang dikonversi

ke pesawat rencana sesuai tipe roda pendaratannya

W_1 = Beban roda dari pesawat rencana

W_2 = Beban roda dari pesawat yang ditanyakan

MTOW = Maximum Take Off Weight adalah beban maksimum pada awal lepas landas sesuai dengan bobot pesawat.

$\frac{1}{n}$ = Faktor konversi sesuai tipe roda pesawat

Tabel 3. Konversi Tipe Roda Pesawat

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

Sumber: Basuki (1986)

c) Menghitung tebal perkerasan total

Tebal perkerasan total dihitung dengan memplotkan data CBR *subgrade* yang diperoleh dari FAA, *Advisory Circular 150/5335-5*, MTOW (*Maximum Take Off Weight*) pesawat rencana, dan nilai *Equivalent Annual Departure* ke dalam Grafik sesuai jenis pesawat yang direncanakan yaitu Boeing B747-400 Belly. Setelah data-data di plotkan ke grafik akan didapatkan tebal perkerasan.

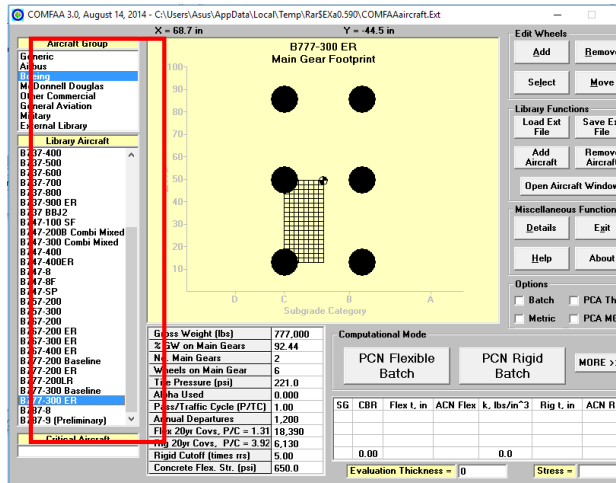
Analisa Kekuatan Tebal Perkerasan Runway dengan Software COMFAA

Program COMFAA digunakan untuk menentukan nilai PCN dan ACN dari tebal perkerasan landas pacu (*runway*) yang sudah didapatkan dari analisa dengan menggunakan metode FAA yang menunjukkan kemampuan perkerasan dalam menerima beban pesawat. Berikut langkah-langkah untuk menentukan nilai ACN dan PCN menggunakan program COMFAA.

- Mengkonversikan tebal perkerasan yang diperoleh dari analisa metode FAA ke tebal perkerasan referensi.
- Menginputkan data lalu lintas seperti: jenis pesawat, berat pesawat, jumlah keberangkatan tahunan.
- Menginputkan tebal referensi ke *software* COMFAA.
- Menginputkan nilai CBR tanah dasar.
- Diperoleh nilai ACN dan PCN.

No	Aircraft Type	Annual Departures (a)	Tipe Roda Pendaratan	Faktor Konversi (b)	R2 (a x b)
1	A321-200 std	10	Dual Wheel	0.6	6
2	A320-100	10047	Dual Wheel	0.6	6028.2
3	B737-800	7409	Single Wheel	0.5	3704.5
4	B737-900 ER	6019	Single Wheel	0.5	3009.5
5	D-200	5567	Single Wheel	0.5	2783.5
6	A330-300 std	119	Single Wheel	0.5	59.5
7	B787-9 (Preliminary)	41	Double Dual Tandem	1.7	69.7
8	A350-900	1	Single Wheel	0.5	0.5
9	B777-300 ER	400	Dual Tandem	1	400
10	B747-400	22	Double Dual Tandem	1.7	37.4
11	B747-400 Belly	22	Double Dual Tandem	1.7	37.4
12	A380	52	Double Dual Tandem	1.7	88.4
13	A380 Belly	52	Double Dual Tandem	1.7	88.4

Gambar 2. Hasil perhitungan R2



Gambar 1. Tampilan awal *software* COMFAA

4. Hasil Penelitian Dan Analisa Menghitung Tebal Perkerasan dengan Pesawat Rencana Boeing B-747-400 Belly

a. Menghitung Gear Departure (R2)

Setiap pesawat yang beroperasi di Bandar Udara Internasional Yogyakarta memiliki beragam bentuk roda pendaratan sehingga perlu menghitung nilai R2 untuk masing-masing pesawat tersebut dengan mengalikan jumlah pergerakan pesawat dengan faktor konversi sesuai jenis roda pendaratannya lalu didapat total keseluruhan beban yang dialami perkerasan. Dengan demikian dapat dihitung *gear departure* dari setiap jenis pesawat yang direncanakan dengan persamaan 3.2.

b. Menghitung Beban Roda Setiap Pesawat (W2)

Pendaratan (*landing*) maupun lepas landas (*take off*) pesawat bertumpu pada roda pendaratan belakang sehingga roda belakang dapat mendukung seluruh beban pesawat saat beroperasi. Dengan demikian dapat dihitung wheel load gear dari setiap jenis pesawat yang direncanakan dengan persamaan 3.3.

No	Aircraft Type	MTOW (lbs) (a)	Faktor Konversi (b)	W2 (0,95 x a x b)
1	A321-200 std	197093,26	0,25	46809.65
2	A320-100	150796,19	0,25	35814.10
3	B737-800	174700,91	0,25	41491.47
4	B737-900 ER	188199,815	0,25	44697.46
5	D-200	199699,042	0,5	94857.04
6	A330-300 std	509047,36	0,5	241797.50
7	B787-9 (Preliminary)	555000,517	0,125	65906.31
8	A350-900	601650,332	0,5	285783.91
9	B777-300 ER	776999,401	0,25	184537.36
10	B747-400	877001,084	0,125	104143.88
11	B747-400 ER	877001,084	0,125	104143.88
12	A380	1238997,91	0,25	294262.00
13	A380 Belly	1238997,91	0,25	294262.00

Gambar 3. Hasil perhitungan W2

c. Menghitung Beban Roda Pesawat Rencana (Wheel Load Design ; W1)

Untuk beban roda pesawat rencana (W1) dengan pesawat rencana Boeing B747-400ER dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 3.4:

$$W1 = 0,95 \times 877001,084 \times \frac{1}{8} = 104143,8787 \text{ lbs}$$

d. Menghitung Equivalent Annual Departure Pesawat Rencana (R1)

Setelah diketahui nilai R2 dan W2 pada semua tipe pesawat, juga nilai W1 pesawat rencana lalu dapat dihitung nilai *equivalent annual departure* (R1) dengan menggunakan

persamaan 3.2 dari pesawat rencana yang sudah ditentukan diawal yaitu Boeing B747-400 Belly.

No	Aircraft Type	R2 (a)	W2 (b)	W1 (c)	R1 [$a \times (\frac{b}{c})^{1.5}$]
1	A321-200 std	6	46809,65	104143,88	3,32
2	A320-100	6028,2	35814,10	104143,88	164,73
3	B737-800	3704,5	41491,47	104143,88	178,88
4	B737-900 ER	3009,5	44697,46	104143,88	190,04
5	D-200	2783,5	94857,04	104143,88	1938,31
6	A330-300 std	59,5	241797,50	104143,88	505,70
7	B787-9 (Preliminary)	69,7	65906,31	104143,88	29,26
8	A350-900	0,5	285783,91	104143,88	0,32
9	B777-300 ER	400	184537,36	104143,88	2908,83
10	B747-400	37,4	104143,88	104143,88	37,40
11	B747-400 ER	37,4	104143,88	104143,88	37,40
12	A380	88,4	294262,00	104143,88	1870,06
13	A380 Belly	88,4	294262,00	104143,88	1870,06
Jumlah R1					9734,31

Gambar 4. Hasil perhitungan R1

Dari hasil perhitungan pada tabel 4.4 dengan menggunakan persamaan 3.2 dan pesawat rencana Boeing B747-400 Belly didapatkan nilai *equivalent annual departure* (R1) adalah 9240,43. Total nilai R1 tersebut digunakan untuk menentukan tebal perkerasan.

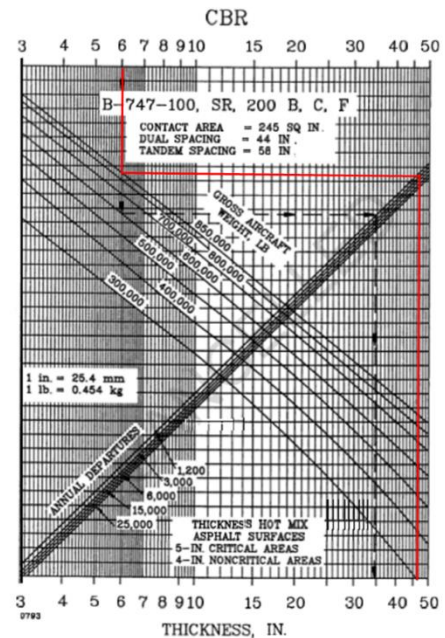
e. Menentukan Tebal Perkerasan

Perhitungan tebal perkerasan dengan Metode FAA dilakukan dengan memplot data yang sudah diketahui sebelumnya :

- CBR Subgrade = 6%
- CBR Subbase = 20%
- *Equivalent Annual Departure* (R1) = 9240,43
- MTOW B747-400ER = 877001,084 lbs

1) Menghitung tebal perkerasan lentur total runway

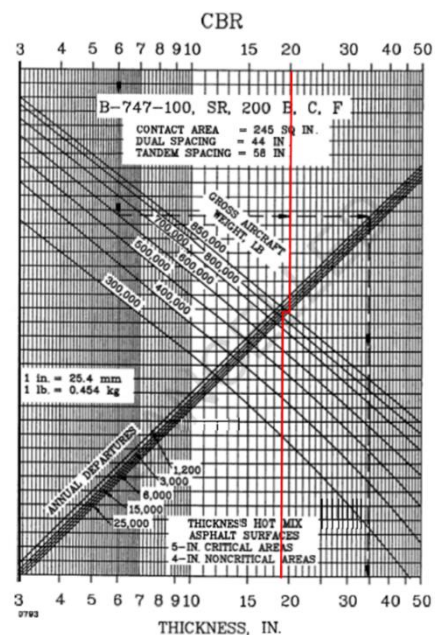
Menurut data yang sudah diketahui dapat ditentukan tabel perkerasan mana yang digunakan pada peraturan FAA AC 150/5320-6D, dikarenakan Boeing B747-400 Belly adalah pesawat *jumbo jet* dengan MTOW 877001.084 lbs, maka digunakan grafik 6-2 dari FAA 6D. Dari gambar 4.1 dibawah berdasarkan nilai CBR *subgrade* 6% diperoleh nilai rencana tebal perkerasan lentur (*flexible pavement*) total sebesar 46,5 inch = 118,11 cm.



Gambar 5. Kurva rencana tebal perkerasan lentur (*flexible pavement*) total, untuk daerah kritis *Dual Double Tandem Gear* untuk pesawat rencana Boeing B747-400ER

2) Menghitung tebal perkerasan lentur subbase dan surface runway

Untuk menghitung tebal perkerasan lentur *subbase* runway digunakan juga grafik FAA AC 150/5320-6D dan pada gambar 4.2 berdasarkan nilai CBR *subbase* 20% diperoleh nilai rencana tebal perkerasan lentur (*flexible pavement*) *subbase runway* sebesar 19 inch = 48,26 cm.



Gambar 6. Kurva rencana perkerasan lentur (*flexible pavement*) *subbase*, untuk daerah kritis *Dual Double Tandem Gear* untuk pesawat rencana Boeing B747-400ER

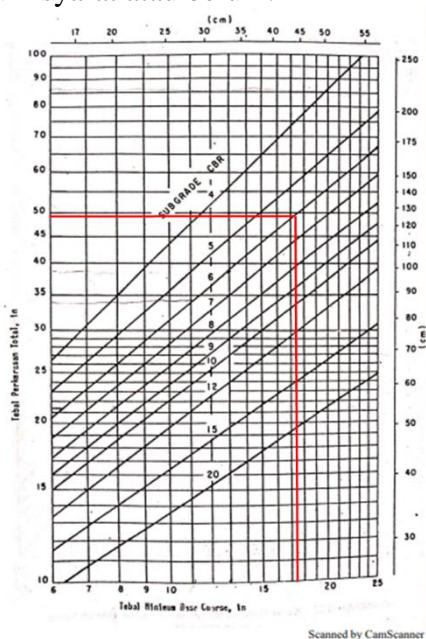
THICKNESS HOT MIX ASPHALT SURFACES
5-IN. CRITICAL AREAS
4-IN. NONCRITICAL AREAS

Gambar 7. Penentuan rencana tebal perkerasan lentur (*flexible pavement*) *surface runway* dengan AC 150/5320-6D

Setelah diketahui nilai tebal perkerasan lentur (*flexible pavement*) total dan *subbase runway* dapat ditentukan nilai tebal perkerasan *surface runway* dengan AC 150/5320-6D pada gambar 4.3 dengan mengasumsikan daerah rencana *runway* sebagai *critical areas* sehingga didapatkan nilai tebal perkerasan *surface runway* sebesar 5 inch = 12,7 cm.

3) Menghitung tebal perkerasan lentur base course runway

Untuk mengetahui tebal perkerasan *base course runway* tinggal dikurangi saja dari tebal perkerasan lapisan lainnya yang sudah diketahui, sehingga tebal *base course* = tebal perkerasan total – (tebal perkerasan *subbase* + tebal perkerasan *surface*), sehingga didapatkan nilai *base course runway* = 46,5 inch – (19 inch + 5 inch) = 22,5 inch ~ 57,15 cm. Namun setelah tebal perkerasan lentur *base course runway* didapatkan dengan cara pengurangan tsb harus dicek lagi dengan menggunakan grafik dari FAA apakah sudah memenuhi syarat atau belum.



Gambar 8. Syarat tebal minimum *base course runway* menurut FAA

Pada gambar 8 telah diplotkan nilai tebal perkerasan lentur total *runway* dengan menghubungkan garis vertikal nilai CBR *subgrade* sebesar 6% dan didapatkan nilai tebal minimum *base course runway* 17,2 inch = 42,48 cm < 22,5 inch ~ 57,15 cm . Menurut FAA AC-5320/6D nilai *base course runway* dari hasil perhitungan harus lebih besar dari tebal minimum *base course runway* maka rencana tebal perkerasan tersebut sudah memenuhi syarat dan dapat digunakan untuk kondisi existing.

Tabel 4. Hasil perhitungan tebal perkerasan dengan pesawat rencana B747-400 ER/ B747-400ER

Lapisan	Tebal Rencana	
	Inchi	cm
Permukaan (<i>Surface Course</i>)	5	12,7
Pondasi Atas (<i>Base Course</i>)	22,5	57,15
Pondasi Bawah (<i>Subbase Course</i>)	19	48,26
TOTAL	46,5	118,11



Gambar 9. Susunan lapis tebal perkerasan

Analisa Kekuatan Tebal Perkerasan Lentur (*Flexible Pavemenet*) dengan Software COMFAA

Berdasarkan analisa kekuatan tebal perkerasan dengan *software* COMFAA dengan jenis pesawat kritis B747-400ER dan menggunakan tebal perkerasan sebesar 40,6 inch sesuai dengan hasil perhitungan menggunakan metode FAA dan nilai CBR tanah dasar sebesar 6. Pada Tabel 4.6 didapatkan seluruh nilai ACN pesawat rencana lebih kecil dari PCN pesawat rencana sudah

sesuai dengan syarat sehingga aman dan tebal perkerasan dapat digunakan dilapangan. Pada pesawat B747-400ER/B747-400 Belly nilai ACN sebesar 77,8 < nilai PCN sebesar 94,9 (OK, sudah aman).

Tabel 5. Hasil analisa kekuatan tebal perkerasan lentur ACN-PCN

Jenis Pesawat	Tebal Perkerasan Berdasarkan Pesawat	
	B747-400 ER	
	ACN (F/L/M)	PCN (F/L/M/U)
A380 Belly	75.1	78.9
A380	75.5	91.3
B747-400 ER	77.8	94.9
B747-400	72.6	85.3
B777-300	89.3	107.0
A350-900	84.4	105.7
B787-9 (Premilinary)	87.5	117.3
A330-300 std	72.6	84.5
D-200	60.4	69.5
B737-900 ER	56.0	62.9
B737-800	50.3	54.6
A320-100	40.3	41.0
A321-200 std	57.6	65.6

4) Kesimpulan Dan Saran

Kesimpulan

Hasil perencanaan tebal perkerasan lentur landas pacu (*runway*) pada Bandar Udara Internasional Yogyakarta (YIA) menggunakan metode FAA adalah sebagai berikut:

1. Hasil analisa perencanaan tebal perkerasan lentur pada landas pacu (*runway*) pada Bandar Udara Internasional Yogyakarta (YIA) menggunakan metode FAA dengan nilai CBR 6 %, didapatkan tebal total perkerasan lentur landas pacu (*runway*) sebesar 46,5 inch (118,11 cm) dengan tebal rencana *surface course* 5 inch (12,7 cm) , *base course* 22,5 inch (27,5 cm), dan *subbase course* 19 inch (48,26 cm).
2. Hasil evaluasi kekuatan tebal perkerasan lentur landas pacu (*runway*) pada Bandar

Udara Internasional Yogyakarta (YIA) terhadap beban lalu lintas pesawat- menggunakan software COMFAA, menunjukkan seluruh angka PCN > ACN, mengindikasikan kondisi struktur perkerasan mampu menerima beban semua jenis pesawat yang direncanakan yang akan dilayani oleh landas pacu (*runway*).

Saran

1. Perlu dilakukan evaluasi jika terjadi penambahan jalur penerbangan dan lalu lintas pesawat baru, karena Bandar Udara Internasional Yogyakarta (YIA) pada Desember 2019 masih berstatus *minimum operation*.
2. Perlu dilakukan analisa lanjutan dengan menambah kajian banding dengan menggunakan metode lainnya seperti metode LCN dan PCA atau menggunakan *software* FAARFIELD.

Daftar Pustaka

- Badan Pusat Statistik., 2017, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta.
- Basuki, Heru., 1986, Merancang dan Merencanakan Lapangan Terbang. Penerbit Alumni Bandung.
- Bethary, R. T., Pradana, M. F., & Basidik, S., 2015, Analisa Kekuatan Perkerasan Runway, Taxiway, dan Apron (Studi Kasus Bandar Udara Soekarno Hatta dengan Pesawat Airbus A-380). Jurnal Industrial Servicess, 1(1).
- Boeing Commercial Airplanes., 2019, B-747-400 Airplane Characteristics for Airport Planning.
- FAA, Federal Aviation Administration., 2009, Advisory Circular 150-5320-6D, Airport Pavement Design and Evaluation. Department of Transportation. United States.
- FAA, Federal Aviation Administration., 2014, Advisory Circular 150/5335-5C, "Standardized Method of Reporting Airport Pavement Strength-PCN.. Department of Transportation. United States.
- FAA, Federal Aviation Administration., 2014, Advisory Circular AC 150/5300 23-A,

- Airport Pavement Design and Evaluation. United States of America.
- Hasib Mohammed Ahsan, M. E., 2016, An Evaluation Of Airfield Pavements In Bangladesh . Iccesd, 1151-1159
- Horonjeff, R., McKelvey, F. X., Sproule, W. J., & Young, S. B., 1993, Planning and Design of Airports. Berkeley: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- International Civil Aviation Aerodrome Design and Operations., 2006, Aerodrome Design Manual, Part I : Runways, 3rd ed.Doc 9157-AN/901. Canada.
- International Civil Aviation Aerodrome Design and Operations., 2013, Annex 14 Volume I, Sixth Edition. Canada.
- Kafiar, R. P., Palenewen, S. C. N., & Jansen, F., 2018, Perencanaan Pengembangan Bandar Udara Stevanus Rumbewas Di Kota Serui Kabupaten Kepulauan Yapen. Jurnal Sipil Statik, 7(1).
- Mustakim, M., & Risfadhah, R., 2018, Evaluasi Rigid Pavement Apron Bandara Kalimantan Berau Dengan Metode Federal Aviation Administration. Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Transukma (Tanah Transportasi Struktur Manajemen Kontruksi), 1(02), 213-223.
- Peraturan Menteri Republik Indonesia Nomor 56., 2015, Tentang Kegiatan Pengusahaan di Bandar Udara. Menteri Perhubungan RI. Jakarta
- Peraturan Menteri Republik Indonesia Nomor: SKEP/77/VI., 2005, Direktur Jenderal Perhubungan Udara. Jakarta.
- Prana, I. G. A. A. M., Dhyani, I., & Dhyani, P., 2018, Tinjauan Tebal Perkerasan Runway Bandara Internasional Lombok (BIL) Menggunakan Metode FAA Berdasarkan Proyeksi Penerbangan. Jurnal Teknik Sipil. Universitas Mataram.
- PT. Angkasa Pura I (Persero)., 2018, Yogyakarta International Airport. Retrieved from Bandara Internasional Yogyakarta.
- Purwanto, H., & Sunandar, A. (2019). Analisa Perencanaan Runway Taxiway Dan Apron Pada Bandara Sultan Mahmud Badaruddin II Palembang Menggunakan Metode FAA (Federal Aviation Administration). Jurnal Deformasi, 4(1), 20-29.
- Rommy Diaz Feranu, S. S., 2016, Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Landas Pacu Bandar Udara Soekarno-Hatta Menggunakan Software FAARFIELD Dan COMFAA. Jurnal Deformasi.
- Sanjaya, A., 2016, Analisis Perbandingan Metode Perhitungan Tebal Perkerasan Lentur Pada Runway Studi Kasus Bandara Samarinda Baru. Kurva S Jurnal Mahasiswa, 1(1), 639-652.
- Sari, Christina, Ariel Winfried, and Luky Surachman., 2019, Analisis Perkerasan Landas Pacu Bandar Udara Husein Sastranegara, Bandung. Jurnal Infrastruktur 5, no. 1: 51-57.
- Satker PT. Angkasa Pura I (Persero)., 2019, Yogyakarta International Airport. Retrieved from Bandara Internasional Yogyakarta.
- Triwibowo, R., 2014, Perbandingan Metode Perencanaan Perkerasan Kaku Pada Apron Dengan Metode FAA, PCA dan LCN Dari Segi Daya Dukung: Studi Kasus Bandara Juanda. Jurnal Teknik Sipil 9-15 .
- Wahba, A. M. A., 2017, ICAO Overloading Practice versus Airport Pavement Design Life Using FAARFIELD 1.3 and COMFAA 2.0, 3.0. American Journal of Civil Engineering and Architecture, 5(2), 57-65.
- Wardhani Sartono, D. T., 2015, Bandar Udara Pengenalan dan Perancangan Geometrik Runway, Taxiway dan Apron. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.