

**EVALUASI DAN DESAIN TEKNIS PERKUATAN PERKERASAN
PERPANJANGAN *SOUTH PARALLEL TAXIWAY 1* BANDAR UDARA
SOEKARNO-HATTA UNTUK MELAYANI PESAWAT BOEING 777-300ER**

Samuel Febrilian Hasto Putro¹, Suwardo, ST., MT., Ph.D.²
Program Studi DIV Teknik Pengelolaan dan Pemeliharaan Infrastruktur Sipil,
Sekolah Vokasi, Universitas Gadjah Mada
e-mail : samuel.febrilian.h@mail.ugm.ac.id, suwardo@gmail.com

INTISARI

Tahun 2019 Bandar Udara Soekarno Hatta (BSH) menduduki peringkat 40 bandara terbaik dunia dari lembaga Skytrax. Untuk meningkatkan kualitas pelayanan dan meningkatkan pergerakan pesawat, BSH melakukan pembangunan dan optimasi fasilitas yang salah satunya adalah pembangunan perpanjangan *taxiway south parallel 1* pada tahun 2016. Pembangunan itu ditujukan untuk dapat dilewati pesawat Boeing 747-400. Namun, mulai tahun 2018 pesawat jenis ini sudah tidak dilayani BSH. Pesawat komersial terberat, Boeing 777-300ER mulai tahun 2013 sudah dilayani di BSH. Hal itu, menjadi dasar topik Proyek Akhir ini untuk mengevaluasi dan merencanakan perkuatan perkerasan *taxiway south parallel 1* tersebut agar dapat melayani pesawat Boeing 777-300ER.

Syarat dilakukan perkuatan dengan *overlay* harus mempertimbangkan data yang terkait dengan pesawat Boeing 777-300ER dan struktur perkerasan eksisting serta hasil survei kerusakan visual perkerasan untuk dianalisis dengan program FAARFIELD. Desain teknis perkuatan dan tebal lapisan *overlay* dilakukan dan dianalisis menggunakan program FAARFIELD kembali. Nilai PCN ditentukan dan dianalisis menggunakan program COMFAA.

Hasil evaluasi menunjukkan perkerasan eksisting membutuhkan *overlay* karena nilai PCC CDF adalah 8,17 dan %CDFU adalah 1290,44%. Nilai *Pevement Condition Index* (PCI) sebesar 80. Nilai tersebut > 76, sehingga dapat dilakukan *overlay* tanpa memperbaiki lapisan bawah. Program FAARFIELD menghasilkan tebal *overlay* HMA yaitu 144 mm. Program COMFAA menghasilkan nilai PCN 135/R/B/X/T dan nilai ACN pesawat Boeing 777-300ER pada CBR 6,35% adalah 86. Hasil tersebut menunjukkan nilai PCN > ACN yang berarti perkerasan *taxiway* dapat melayani pesawat Boeing 777-300ER. Selain itu, pekerjaan *overlay* dibutuhkan pekerjaan tapering untuk menyelaraskan ketinggian permukaan *taxiway* lama dengan *taxiway* setelah *overlay*.

Kata kunci : Bandara, Evaluasi, Perkuatan Overlay, PCN-ACN, Tapering

**EVALUATION AND TECHNICAL DESIGN OF STRENGTHENING
PAVEMENT EXTENSION OF TAXIWAY SOUTH PARALLEL 1 SOEKARNO
HATTA AIRPORT TO SERVE BOEING 777-300ER AIRCRAFT**

Samuel Febrilian Hasto Putro¹, Suwardo, ST.,MT.,Ph.D.²
Program Studi DIV Teknik Pengelolaan dan Pemeliharaan Infrastruktur Sipil,
Sekolah Vokasi, Universitas Gadjah Mada
e-mail : samuel.febrilian.h@mail.ugm.ac.id, suwardo@gmail.com

ABSTRACT

In 2019 Soekarno Hatta Airport (BSH) is ranked 40th in the world's best airport from Skytrax. To improve service quality and improve aircraft movements, BSH carried out construction and optimization of facilities, one of which was the construction of an extension of south parallel taxiway 1 in 2016. Construction to be able to pass Boeing 747-400. But, in 2018 this aircraft is currently not served by BSH. The heaviest commercial aircraft, Boeing 777-300ER is being operated since 2013 in BSH. It becomes the basis of the Final Project topic for evaluating and planning pavement strengthening taxiway south parallel 1 so that it can serve Boeing 777-300ER aircraft.

The pavement strengthening with overlay requirement must consider data related to Boeing 777-300ER aircraft and existing pavement structure and also the results of the pavement condition survey to be analyzed by FAARFIELD program. Strengthening technical designs and overlay layer thickness were analyzed using the FAARFIELD program again. PCN values were determined and analyzed using COMFAA program.

The analysis shows that the existing pavement requires overlay because the CDF PCC value is 8.17 and the CDFU% is 1290.44%. Pavement Condition Index (PCI) value is 80. This value is > 76 so that overlay can be done without strengthening the lower structure. The FAARFIELD program produces HMA overlay thickness of 144 mm. The COMFAA program produces 135 / R / B / X / T PCN values and ACN values of Boeing 777-300ER aircraft at CBR 6.35% is 86. The result shows the value of PCN > ACN which means extension pavement can be used for Boeing 777-300ER aircraft. Overlay work requires tapering to align the surface height of the old taxiway with the overlaid taxiway.

Keywords : Airport, Evaluation, Overlay Strengthening, PCN-ACN, Tapering

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Tahun 2019, bandar udara Soekarno Hatta mendapatkan penghargaan dan peringkat 40 terbaik dunia dari lembaga kebandarudaraan *Skytrax*. Peringkat tersebut meningkat dari sebelumnya hanya menduduki peringkat 45 dunia. Peringkat dunia yang membaik terus diimbangi dengan peningkatan pelayanan pergerakan pesawat. Pembangunan *runway* 3, terminal 4, dan optimasi *runway* utara dengan *overlay* diharapkan mampu meningkatkan pelayanan pergerakan pesawat.

Tahun 2015 direncanakan pembangunan perpanjangan *taxiway south parallel* 1. Pembangunan dilakukan pada tahun 2016 dan mulai beroperasi pada akhir tahun 2016. *Taxiway SP* 1 direncanakan menggunakan pesawat Boeing 747-400. Namun, tahun 2018 pesawat ini dipensiunkan oleh berbagai maskapai dan digantikan oleh pesawat komersial besar dan terberat saat ini yaitu Boeing 777-300ER.

Perkerasan perpanjangan *taxiway sp* 1 perlu dilakukan evaluasi secara visual dan umur sisa apakah masih bisa dilalui oleh pesawat Boeing 77-300ER. Jika umur rencana sudah habis perlu dilakukan perkuatan agar PCN perkerasan melebihi nilai ACN pesawat Boeing 777-300ER. Diharapkan perkerasan mampu melayani pergerakan pesawat saat ini untuk 20 tahun ke depan.

B. Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai berdasarkan pembahasan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengevaluasi nilai CDF dan %CDFU perkerasan pada perpanjangan *taxiway south Parallel* 1.
2. Untuk mengevaluasi nilai PCI perkerasan perpanjangan *taxiway south parallel* 1.
3. Untuk merancang desain teknis perkuatan perkerasan perpanjangan *taxiway south parallel* 1 yang meliputi

perhitungan tebal lapis ulang (*overlay*) dan PCN pemodelan COMFAA.

4. Untuk membandingkan nilai antara *declared* PCN dan PCN baru.
5. Untuk memberikan metode pelaksanaan *overlay* HMA di atas *rigid pavement*.
6. Untuk memberikan skema penyesuaian geometri perkerasan *taxiway* lama dan *overlay* perpanjangan *taxiway* baru.

C. Batasan Masalah

Dalam penyusunan penelitian ini diberikan beberapa batasan masalah sebagai berikut :

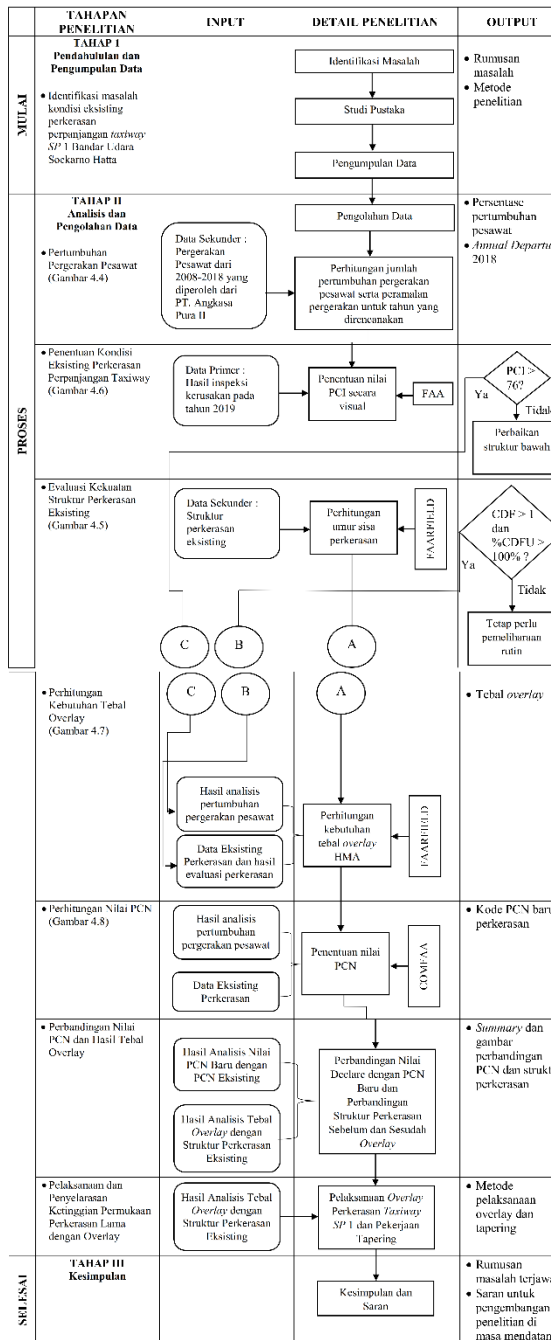
1. Evaluasi kekuatan struktur perkerasan hanya pada perpanjangan *taxiway south parallel* 1.
2. Evaluasi perkerasan dengan metode FAA mengacu pada *Advisory Circular* 150/5320-6F.
3. Evaluasi kekuatan struktur hanya pada lapis permukaan menggunakan survei visual berdasarkan sistem peratingan FAA *Advisory Circular* 150/5320-17A.
4. Analisis tebal *overlay* dan nilai PCN mengacu pada FAA AC No. 150/5335-5C.
5. Analisis PCN rencana menggunakan *software* COMFAA *update* 2017.
6. Analisis evaluasi tebal perkerasan dan tebal *overlay* menggunakan *software* FAARFIELD *update* 2017.
7. Penelitian tidak meninjau kekuatan struktur perkerasan *subbase*, *base*, dan *subgrade* tetapi hanya pada tebal tiap lapisan eksisting.

II. METODE PENELITIAN

A. Tahapan Pengolahan Data

1. Peramalan pergerakan pesawat dan *annual departure*.
2. Evaluasi kekuatan perkerasan dengan pesawat saat ini.
3. Perkuatan perkerasan dengan *overlay*.
4. Penentuan nilai PCN saat ini.
5. Penyesuaian elevasi permukaan *taxiway* lama dengan *overlay taxiway* baru.

B. Diagram Alir



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

III. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

1. Peramalan Pergerakan Pesawat

Berikut adalah perhitungan *annual departure* untuk pesawat Boeing 777-300ER:

Tabel 1. Perhitungan Regresi Linier

Tahun	Tahun ke-	Frekuensi Pesawat			
	X	Y	X ²	Y ²	XY
2008	1	-	1	-	-
2009	2	-	4	-	-
2010	3	-	9	-	-
2011	4	-	16	-	-
2012	5	-	25	-	-
2013	1	20	1	400	20
2014	2	30	4	900	60
2015	3	54	9	2.916	162
2016	4	21	16	441	84
2017	5	11.601	25	134.583.201	58.005
2018	6	5.547	36	30.769.209	33.282
Σ	21	17.273	91	165.357.067	91.613

$$a = \frac{(\sum Yi)(\sum X^2) - (\sum X)(\sum XY)}{n(\sum X^2) - (\sum X)^2} \quad b = \frac{n(\sum XY) - (\sum Xi)(\sum Yi)}{n(\sum X^2) - (\sum X)^2}$$

$$a = -3352,67 \quad b = 1780,429$$

$$Y = -3352,67 + 1780,429X$$

Dari hasil tersebut didapatkan nilai *regression statistics*

Regression Statistics	
Multiple R	0,694148168
R Square	0,481841679
Adjusted R Square	0,309122238
Standard Error	4275,250835
Observations	5

Berdasarkan Tabel 2 didapatkan rata-rata pertumbuhan pesawat Boeing 777-300ER sebesar 8,36%.

Tabel 2. Hasil Peramalan Pergerakan Pesawat

Forecasting	Frekuensi Pesawat (Y=-3356,67+1780,429(X))	Pertumbuhan per Tahun	Tahun Rencana	
Tahun ke- 7	2019	9110	64,24%	0
8	2020	10891	19,54%	1
9	2021	12671	16,35%	2
10	2022	14452	14,05%	3
11	2023	16232	12,32%	4
12	2024	18012	10,97%	5
13	2025	19793	9,88%	6
14	2026	21573	9,00%	7
15	2027	23354	8,25%	8
16	2028	25134	7,62%	9
17	2029	26915	7,08%	10
18	2030	28695	6,62%	11
19	2031	30475	6,20%	12
20	2032	32256	5,84%	13
21	2033	34036	5,52%	14
22	2034	35817	5,23%	15
23	2035	37597	4,97%	16
24	2036	39378	4,74%	17
25	2037	41158	4,52%	18
26	2038	42938	4,33%	19
27	2039	44719	4,15%	20
Rata-rata			8,36%	

Rekapitulasi *annual departure* dan persentase pertumbuhan tiap jenis pesawat disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Rekapitulasi Pertumbuhan Pesawat

No	Jenis Pesawat	Pergerakan Pesawat	Annual Departure	Pertumbuhan Pesawat
1	737-300	6.580	3.290	-24,65%
2	A320-200	117.273	58.637	4,92%
3	A330-300	12.221	6.111	3,36%
4	777-300	9.178	4.589	3,39%
5	747-400	735	368	-40,82%
6	737-400	708	354	-19,03%
7	777-200ER	1.824	912	-1,27%
8	737-800	210.085	105.043	5,47%
9	737-900 ER	56.181	28.091	2,55%
10	737-500	11.560	5.780	6,47%
11	A330-200	9.106	4.553	4,27%
12	MD-82	1.013	507	-15,11%
13	Beech 1900C	171	86	-26,90%
14	A321-100	673	337	-1,87%
15	BOMBARDIER CRJ1000	8.667	4.334	7,02%
16	AIRBUS 350-900	2.164	1.082	9,30%
17	777-300ER	5.547	2.774	8,36%
18	BOEING 767-300	485	243	-30,26%
19	BOEING 787-900	1.730	865	9,38%
20	Boeing 787-800	4.934	2.467	8,63%

2. Data Eksisting Perkerasan dan Tanah

Perhitungan CBR segmen berdasarkan formulasi sebagai berikut :

$$CBR \text{ segmen} = CBR_{rata-rata} - \frac{(CBR_{maks} - CBR_{min})}{R}$$

$CBR_{maks} = 19,18 \%$
 $CBR_{min} = 6,08 \%$
 $R = 3,18$

Didapatkan CBR segmen = 6,53%, perkerasan kaku harus dijadikan modulus reaksi tanah (k) = pci . Kemudian dikonversikan menjadi nilai E . $E = 9.793,723 \text{ psi}$.

Perhitungan *modulus rupture* berdasarkan SNI 2847:2013 untuk K-500 atau 40,67 MPa sebesar 3,95 MPa.

3. Hasil Survei Visual

Rekapitulasi volume dan jenis kerusakan disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Rekapitulasi Survei Kerusakan

Total Kerusakan	270,39	m ²
Persentase Kerusakan	0,99%	
Kerusakan Low	256,71	m ²
Kerusakan Medium	13,68	m ²
Persentase Kerusakan Low	94,94%	
Persentase Kerusakan Medium	5,06%	

Berdasarkan rekapitulasi hasil survei visual dan mengacu pada sistem peratingan FAA AC 150/5320 17A, maka didapatkan hasil persentase kerusakan dan jenis rating kerusakan. Persentase total kerusakan yang didapatkan adalah 0,99%. Kemudian jika mengacu pada peratingan FAA, sistem perkerasan masuk ke dalam kategori 4 (*GOOD*). Berdasarkan FAA AC 150/5320 17A untuk *rigid pavement* maka didapatkan nilai PCI sebesar 80.

4. Evaluasi Kekuatan Perkerasan

Evaluasi perkerasan menggunakan program FAARFIELD adalah dengan menentukan sisa umur struktural dari perkerasan eksisting untuk lalu-lintas pesawat campuran. Struktur perkerasan eksisting terdapat pada Tabel 5.

Tabel 5. Struktur Perkerasan Eksisting

Ketebalan	Struktur Perkerasan
550 mm	P-501 PCC <i>Surface Course</i> (R=3.95 MPa)
150 mm	P-304 Cement Treated Base Course
150 mm	P-209 Base Course
	Subgrade, E = 9.793,723 psi

Menurut program FAARFIELD evaluasi umur perkerasan eksisting melewati umur rencana (20 tahun) apabila memenuhi persyaratan sebagai berikut :

- $CDF > 1$
- $\%CDFU > 100\%$

Setelah mengevaluasi sisa umur rencana pada tahun 1, 5, 10, dan 20 maka akan didapatkan perbandingan nilai CDF dengan tahun pemakaian yang disajikan pada Tabel 6 dan Gambar 2. Dengan hasil tersebut perkerasan membutuhkan perkuatan berupa *overlay* untuk bisa menahan beban pergerakan pesawat saat ini.

Tabel 6. Evaluasi Nilai CDF

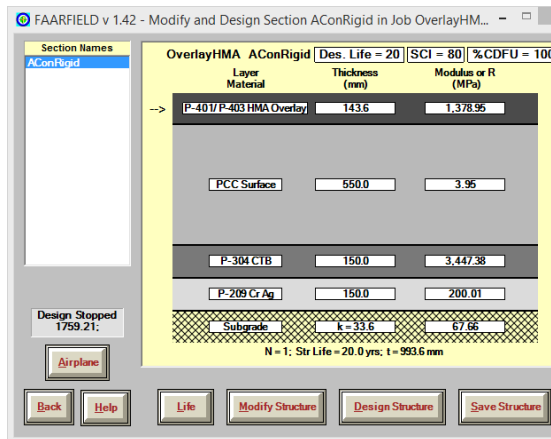
No	Tahun Pemakaian	Nilai CDF
1	1	0,24
2	5	1,36
3	10	3,17
4	20	8,17



Gambar 2. Perbandingan Nilai CDF dengan Tahun Pemakaian

5. Perkuatan Perkerasan dengan Overlay

Analisis dilanjutkan untuk *running* tebal *overlay* dan ditentukan hasil tebal *overlay* dapat dilihat pada Gambar 3. Berdasarkan hasil analisis program FAARFIELD dihasilkan tebal *overlay* untuk perkerasan *taxiway south parallel 1* adalah 143,6 mm dibulatkan menjadi 144 mm.



Gambar 3. Tebal Lapisan Overlay Berdasarkan Program FAARFIELD

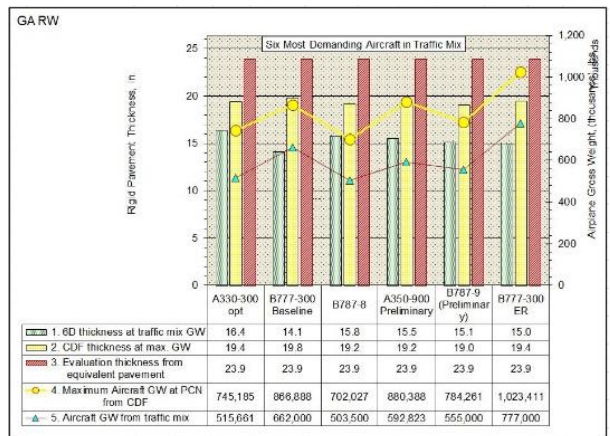
6. Penentuan Nilai PCN

Perhitungan nilai PCN berdasarkan data karakteristik perkerasan eksisting dan tebal *overlay* yang disajikan pada Tabel 7. Input program pada COMFAA berdasarkan pergerakan pesawat campuran saat ini.

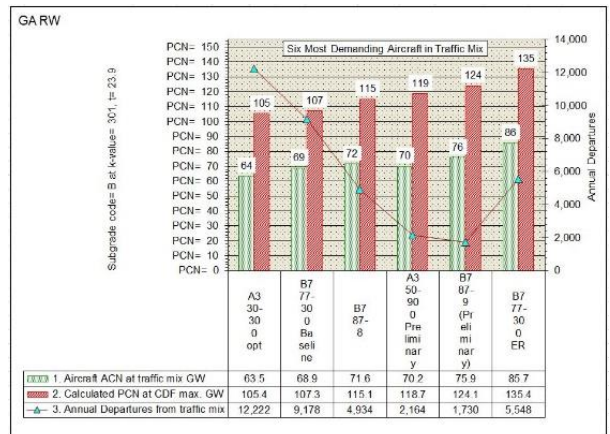
Tabel 7 Karakteristik Perkerasan Eksisting dan Overlay Taxiway SP 1

PCC depth	23,9	in	P-501
CTBC	5,9	in	P-304
PCC Modulus Elasticity	4000000	psi	
Modulus of Rupture	572,9	psi	
Subgrade k	123,89	psi	Code B
Effective k-value	301	pci	
Design life	20	years	

Grafik pada Gambar 4 menunjukkan bahwa tebal evaluasi masih lebih besar dibanding ketebalan CDF dan 6D (<23,9 inch). Grafik pada Gambar 5 menunjukkan bahwa seluruh nilai PCN > ACN dengan nilai PCN tertinggi adalah 135. Hal tersebut menandakan kondisi struktur perkerasan yang baik. Pada grafik juga menunjukkan bahwa pesawat kritis yaitu Boeing 777-300ER. Kode PCN saat ini adalah **135/R/B/X/T**.



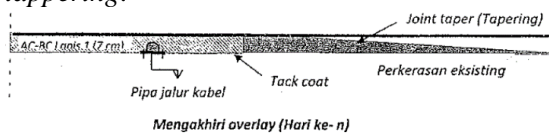
Gambar 4 Perbandingan Ketebalan Perkerasan dan Berat Pesawat



Gambar 5 Perbandingan Nilai ACN dan PCN

7. Pelaksanaan Pekerjaan Tapering

Setiap mengakhiri pekerjaan HMA overlay per hari, yang akan dilanjutkan pada hari berikutnya atau pada saat akhir overlay diperlukan penyesuaian permukaan. Penyesuaian permukaan taxiway lama dengan permukaan overlay taxiway perpanjangan dilakukan dengan ujung hasil overlay tersebut harus rata/segaris dan dipasang joint taper (tapering) dengan kemiringan maksimum 1%. Gambar 6 menunjukkan pekerjaan tapering.



Gambar 6 Pekerjaan Tapering Untuk Akhir Pekerjaan Overlay Hari ke-n

8. Analisis Reduksi Umur Rencana

Analisis reduksi umur rencana diperlukan karena pada perhitungan tebal overlay terjadi proses simplifikasi angka pertumbuhan pesawat. Simplifikasi yang dimaksud adalah membuat angka pertumbuhan yang melebihi $\pm 10\%$ dibatasi menjadi (+) 10% dan (-) 10%. Dengan beberapa pertumbuhan tersebut tidak menggambarkan hasil overlay yang sesuai umur rencana. Untuk itu melalui program KENPAVE khususnya melalui analisis KENSLAB akan diketahui pengurangan atau reduksi umur rencana yang semula direncanakan untuk 20 tahun.

a. Input Program KENSLAB

Rekapitulasi perhitungan equivalent modulus dan effective thickness menggunakan persamaan dari Huang (1993) dan Chou (1996) pada Tabel 8 dan Tabel 9.

Tabel 8. Perhitungan Equivalent Modulus dan Effective Thickness

Variabel	Hasil	Satuan
b	279,48	mm
R_1	$3,907 \times 10^{12}$	MN/mm
R_2	$5,677 \times 10^{13}$	MN/mm
v	0,11895	
h	694	mm

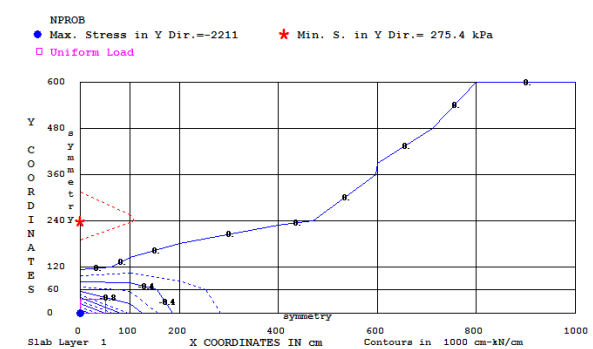
D_{new}	622	mm
E_p	2.147.738,332	psi

Tabel 9. Rekapitulasi Tebal Ekuivalen

Layer Number	Thickn ess (mm)	Poisson's Ratio	Young's Modulus (psi)	Modulus Rupture (MPa)
1	144	0,35	200000	2000
2	550	0,15	4000000	3,95
Effective Thickness	622	0,11895	2147738,338	22,135

b. Output Program KENSLAB

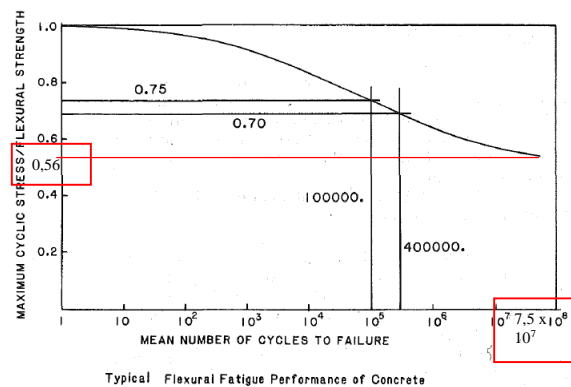
Diperoleh nilai kuat tarik maksimum terletak pada titik 1 yang berada di sudut slab yang merupakan letak beban terbesar. Berdasarkan Gambar 7 diperoleh nilai tegangan maksimum sebesar -2211,039 kPa atau -2,211 MPa. Nilai bernilai negatif berarti slab beton mengalami tegangan tarik.



Gambar 7 Kontur Tegangan pada Slab

c. Reduksi Umur Rencana

Nilai Ration (σ) didapatkan dari perbandingan tegangan maksimum dengan modulus rupture terkecil. Nilai $\sigma = 2,211/3,95 = 0,56$. Gambar 8 menunjukkan perhitungan pengulangan beban yang diijinkan (Nf) yaitu sebesar $7,5 \times 10^7$ atau 75.000.000 repetisi pergerakan.



Gambar 8 Pengulangan Beban yang Diijinkan (Nf) Menggunakan Nomogram Reduksi umur rencana dihitung berdasarkan *Total Equivalent Annual Departure* untuk pesawat kritis Boeing 777-300ER. *Total Equivalent Annual Departure* diperoleh sebesar 29.789 pergerakan dalam satu tahun. Reduksi umur rencana dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$RL = 100\% \times \left(1 - \frac{\text{Total Equivalent Annual Departure}}{\text{Repetisi Pergerakan Diizinkan}} \right)$$

$$RL = 100\% \times \left(1 - \frac{29.789}{75.000.000} \right)$$

Reduksi umur rencana = RL x Umur Rencana = 0,999 x 20 tahun = 19,9 tahun.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan dari evaluasi dan desain teknis perkuatan perkerasan perpanjangan *taxiway south parallel 1* menggunakan metode FAA untuk pesawat rencana Boeing 777-300ER dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil evaluasi perkerasan kaku menggunakan program FAARFIELD didapatkan nilai PCC CDF adalah 8,17 dan %CDFU adalah 1290,44% menunjukkan umur perkerasan sudah melebihi umur rencana. Dengan hasil tersebut perkerasan membutuhkan perkuatan berupa *overlay*.
2. Berdasarkan hasil evaluasi survei kerusakan visual metode peratingan FAA didapatkan nilai PCI sebesar 80 (> 76). Dengan hasil tersebut dapat dilakukan *overlay* dan tidak perlu dilakukan perbaikan struktur bawah.
3. Berdasarkan hasil perencanaan tebal *overlay* didapatkan tebal evaluasi sebesar 144 mm atau 5,66 inch dengan material P-401 atau *Hot Mix Asphalt*. Selain itu, didapatkan kode PCN saat ini adalah 135/R/B/X/T.
4. Berdasarkan nilai PCN saat ini yaitu 135/R/B/X/T sudah melebihi nilai

ACN Pesawat Boeing 777-300ER pada *subgrade B*. Dengan hasil tersebut pesawat Boeing 777-300ER dapat melalui perkerasan perpanjangan *taxiway south parallel 1*.

5. Proses simplifikasi angka pertumbuhan menyebabkan reduksi umur rencana sehingga tidak mencapai 20 tahun. Berdasarkan perhitungan program KENSLAB didapatkan reduksi umur rencana menjadi 19,9 tahun.
6. Penyelarasan elevasi permukaan *taxiway* lama dengan permukaan *overlay taxiway* baru yaitu dengan cara tapering.

B. Saran

Berdasarkan hasil dan kesimpulan pembahasan Proyek Akhir ini dapat diberikan beberapa saran antara lain :

1. Hasil evaluasi dan desain teknis perkuatan perkerasan perpanjangan *taxiway south parallel 1* dapat digunakan sebagai perencanaan mendatang agar bagian perkerasan tersebut bisa dilalui oleh pesawat komersial terberat saat ini yaitu Boeing 777-300ER.
2. Pada penelitian mendatang alangkah baiknya dapat mengevaluasi kekuatan struktur bawah dengan parameter lendutan, hasil *core drill*, dan survei PCI sehingga didapatkan hasil yang lebih mendetail.
3. Proses simplifikasi angka pertumbuhan pada perhitungan tebal *overlay* menggunakan program FAARFIELD yang menyebabkan reduksi umur rencana, sebaiknya dilakukan perhitungan tebal *overlay* secara manual.

DAFTAR PUSTAKA

- Asphalt Institute, 2014, *MS-2 Asphalt Mix Design Methods*, Asphalt Institute, USA.
- Chou, Y. J., 1996, *Verification of the ODOT Overlay Design Procedure*, No. FHWA/OH-96/005.

- FAA, 2014, *AC 150/5335 5C Standardized Method of Reporting Airport Pavement Strength – PCN*, US Department of Transportation, Chicago.
- FAA, 2014, *AC 150/5380 6C Guidelines and Procedures for Maintenance of Airport Pavements*, US Department of Transportation, Chicago.
- FAA, 2016, *AC 150/5320 6F Airport Pavement Design and Evaluation*, Department of Transportation, Chicago: US.
- Galloway, J. W., dan Raithby, K. D., 1973, *Effect of Rate of Loading in Flexural Strength and Fatigue Performance of Concrete*, Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, Berkshire, U.K.
- Huang, Y. H., 1993, *Pavement Analysis and Design*. Prentice Hall.
- ICAO, 2018, *Annex 14*, ICAO, Amerika Serikat.
- Kementrian Perhubungan Udara, 2018, *Standar Teknis dan Operasional Peraturan Keselamatan Penerbangan Sipil.*, Kementrian Perhubungan, Jakarta.
- Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Udara, 2015, *Pedoman Teknis Operasional Peraturan Keselamatan Penerbangan Sipil*, Kementrian Perhubungan Udara, Jakarta.
- PT Angkasa Pura II, 2018. *Airport Pavement Management System*, PT Angkasa Pura II, Tangerang.
- Sidgel, Pawan, 2016, *Improving Design Strategies for Composite Pavement Overlay: Multi-layered Elastic Approach and Reliability Based Models*, Toledo : University of Toledo.
- UK Ministry of Defence, 2011, *A Guide to Airfield Pavement Design and Evaluation*, UK Ministry of Defence, West Midlands.