



Evaluasi Tebal Perkerasan Kaku Apron Bandara Mutiara SIS Al-Jufri

Aprilia Wulandari^{1*}, Suryo Hapsoro Tri Utomo², Suprpto Siswosukarto³

¹Mahasiswa Magister Sistem dan Teknik Transpotasi-Universitas Gadjah Mada

^{2,3}Dosen Magister Sistem dan Teknik Transpotasi-Universitas Gadjah Mada

*email: apriliawulandr@mail.ugm.ac.id

Abstract

Mutiara Sis Al Jufri Airport is one of the airports experiencing an increasing demand for air traffic. It is hoped that the demand for air travel that increases every year is also in line with the performance of the airport's airside facilities so that it can serve the increasing demand, especially on the apron. This study aims to evaluate the rigid apron pavement of Mutiara Sis Al-Jufri Airport Palu and obtain the results of the calculation of the planned apron pavement construction to be able to serve aircraft traffic in accordance with the planned aircraft traffic growth using Boeing 737-900ER type aircraft as the plan aircraft. The evaluation of the apron rigid pavement was carried out using the FAA (Federal Aviation Administration) method with a Boeing 737-900 ER as the design aircraft. Based on the results of the evaluation of rigid pavement thickness for existing conditions using Boeing 737-900ER type aircraft, the concrete slab thickness is 36 cm and the subbase is 15 cm, while the thickness of the pavement for the next 20 years is 41 cm and the subbase thickness is 15 cm. So it is necessary to add to the thickness of the concrete slab by 5 cm so that it can carry the burden of aircraft traffic for the next 20 years. As for the subbase course, there is no need for re-construction so that the pavement can serve aircraft traffic for the next 20 years.

Keywords: Mutiara Sis Al-Jufri airport, FAA method, Boeing 737-900ER, rigid pavement

Abstrak

Bandar Udara Mutiara Sis Al Jufri merupakan salah satu bandara yang mengalami peningkatan permintaan akan lalu lintas udara. Adanya permintaan perjalanan udara yang meningkat setiap tahunnya diharapkan juga selaras dengan kinerja pada fasilitas sisi udara Bandar Udara tersebut sehingga dapat melayani peningkatan permintaan yang terjadi, khususnya pada apron. Penelitian ini dimaksudkan bertujuan untuk mengevaluasi perkerasan kaku apron Bandara Mutiara Sis Al-Jufri Palu serta memperoleh hasil perhitungan konstruksi perkerasan apron yang direncanakan agar mampu melayani lalu lintas pesawat sesuai dengan pertumbuhan lalu lintas pesawat yang direncanakan dengan menggunakan pesawat tipe Boeing 737-900ER sebagai pesawat rencana. Evaluasi perkerasan kaku *apron* dilakukan dengan menggunakan metode FAA (*Federal Aviation Administration*) dengan pesawat Boeing 737-900 ER sebagai pesawat rencana. Berdasarkan hasil evaluasi tebal perkerasan kaku untuk kondisi eksisting menggunakan pesawat rencana tipe Boeing 737-900 ER diperoleh tebal slab beton sebesar 36 cm dan *subbase* sebesar 15 cm, sedangkan tebal perkerasan untuk 20 tahun mendatang diperoleh tebal slab beton sebesar 41 cm dan *subbase* 15 cm. Sehingga perlu dilakukan penambahan pada tebal slab beton sebesar 5 cm sehingga dapat memikul beban lalu lintas pesawat untuk 20 tahun mendatang. Sedangkan untuk *subbase course* tidak perlu dilakukan konstruksi kembali sehingga perkerasan tersebut dapat melayani lalu lintas pesawat untuk 20 tahun mendatang.

Kata kunci: Bandara Mutiara Sis Al-Jufri, metode FAA, Boeing 737-900 ER, perkerasan kaku

1. Pendahuluan

Transportasi udara merupakan salah satu transportasi yang sangat penting saat ini, dimana transportasi udara tersebut dapat mempercepat mobilisasi masyarakat untuk dapat berpindah dari satu kota ke kota lainnya dengan waktu yang singkat. Sehingga permintaan akan transportasi udara tersebut mengalami peningkatan dari tahun ke tahun. Sarana ini memiliki peranan yang sangat penting terhadap pertumbuhan ekonomi dan kesejahteraan sosial di suatu daerah tertentu [1].

Salah satu bandara yang mengalami peningkatan permintaan yaitu Bandar Udara Mutiara Sis Al-Jufri yang terletak di Kota Palu, Sulawesi Tengah, Indonesia. Bandara tersebut tidak hanya sebagai mobilisasi masyarakat sekitar, tetapi juga sebagai salah satu pembangkit

perekonomian di Sulawesi Tengah, khususnya Kota Palu. Adanya permintaan perjalanan udara yang meningkat setiap tahunnya diharapkan juga selaras dengan kinerja pada fasilitas sisi udara Bandar Udara tersebut sehingga dapat melayani peningkatan permintaan yang terjadi, khususnya pada *apron*. *Apron* dirancang menggunakan perkerasan kaku dikarenakan *apron* menanggung beban statis yang cukup lama dan tempat melakukan pengisian bahan bakar pesawat.

Penelitian ini dimaksudkan bertujuan untuk mengevaluasi perkerasan kaku *apron* Bandara Mutiara Sis Al-Jufri Palu serta memperoleh hasil perhitungan konstruksi perkerasan *apron* yang direncanakan agar mampu melayani lalu lintas pesawat sesuai dengan pertumbuhan lalu lintas pesawat yang direncanakan dengan menggunakan pesawat tipe *Boeing 737-900ER* sebagai pesawat rencana.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Merancang Tebal Perkerasan Kaku Menggunakan Metode FAA

Penggunaan kurva perancangan metode FAA membutuhkan empat parameter yaitu kuat lentur beton, modulus *subgrade*, berat kotor pesawat rencana serta jumlah keberangkatan tahunan [2].

2.2 Karakteristik Pesawat Terbang

Berat pesawat udara, dimensi pesawat terbang, dan konfigurasi sumbu roda pesawat udara merupakan konfigurasi pesawat udara yang dijadikan sebagai acuan serta pertimbangan dalam mendesain atau merancang suatu bandar udara [3].

2.3 *Apron*

Apron merupakan sebuah area dalam bandar udara yang ditetapkan dan bertujuan untuk mengakomodasi dalam menaikkan dan menurunkan penumpang maupun barang, parkir pesawat, *fueling* dan *maintenance* [4]. *Apron* memiliki 2 fungsi utama, yaitu: sebagai tempat parkir pesawat (*aircraft parking position*) dan sebagai fasilitas pelayanan dan pemeliharaan pesawat (*servicing and minor maintenance*). Pesawat dapat ditempatkan dalam beberapa arah ke bangunan terminal dan bisa bermanuever ke dalam ataupun keluar tempat parkirnya dengan tenaga pesawat itu sendiri ataupun dengan bantuan alat penarik [5]. Adapun tipe parkir pesawat yang telah sukses diterapkan pada beberapa bandar udara yaitu: *nose-in parking*, *angled nose-in parking*, *angled nose-out parking*, *parallel parking*.

2.4 Tegangan Akibat Beban Roda

Tegangan akibat beban roda dihitung dengan menggunakan analisis Westergaard. Analisis Westergaard digunakan untuk mengevaluasi tegangan yang terjadi pada perkerasan, serta defleksi pelat. Untuk bandara, Westergaard mengembangkan formula untuk tegangan dan defleksi di bagian dalam pelat (*interior load*) dan di tepi pelat (*edge load*) [5].

2.5 Tegangan yang Terjadi Akibat Pengaruh Perubahan Temperatur

Panjang jarak sambungan mempengaruhi tegangan yang terjadi pada tepi pelat beton, dimana besarnya tegangan pada tepi pelat pada waktu terjadi *curling* ditunjukkan pada Persamaan (2.1) berikut [6].

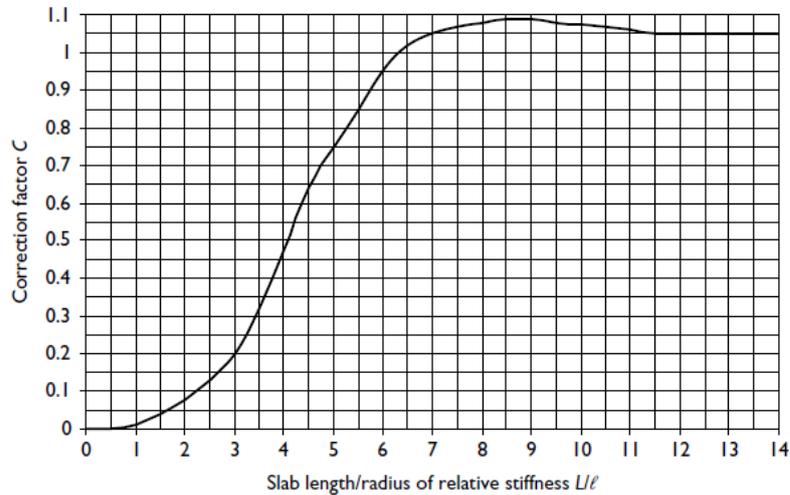
$$\sigma = \frac{CE\alpha t\Delta t}{2(1-\nu^2)} \quad (2.1)$$

dengan:

E = modulus elastisitas beton
 αt = koefisien termal beton

Δt = perbedaan temperatur bagian atas dan bawah pelat beton
 ν = *poisson ratio*
C = faktor koreksi

Nilai C (faktor koreksi) diperoleh berdasarkan grafik Bradbury (1938) ditunjukkan pada Gambar 2.1 [6].



Gambar 2.1 Faktor koreksi tegangan curling pada pelat beton
Sumber: Bradbury, 1938

3. Metode Penelitian

Metode penelitian dilakukan dengan pengumpulan data yang berhubungan dengan evaluasi tebal perkerasan kaku *apron* Bandara Mutiara Sis Al-Jufri dengan menggunakan metode FAA (*Federal Aviation Administration*). Data primer diambil untuk melengkapi data yang belum terakomodasi pada data sekunder dengan melakukan wawancara langsung mengenai kondisi aktual Bandara. Data sekunder yang digunakan pada penelitian ini diperoleh langsung dari Kantor UPBU Kelas 1 Bandara Mutiara Sis Al-Jufri Palu. Adapun parameter yang dapat dijadikan pertimbangan dalam perhitungan berdasarkan metode yang digunakan yaitu sebagai berikut.

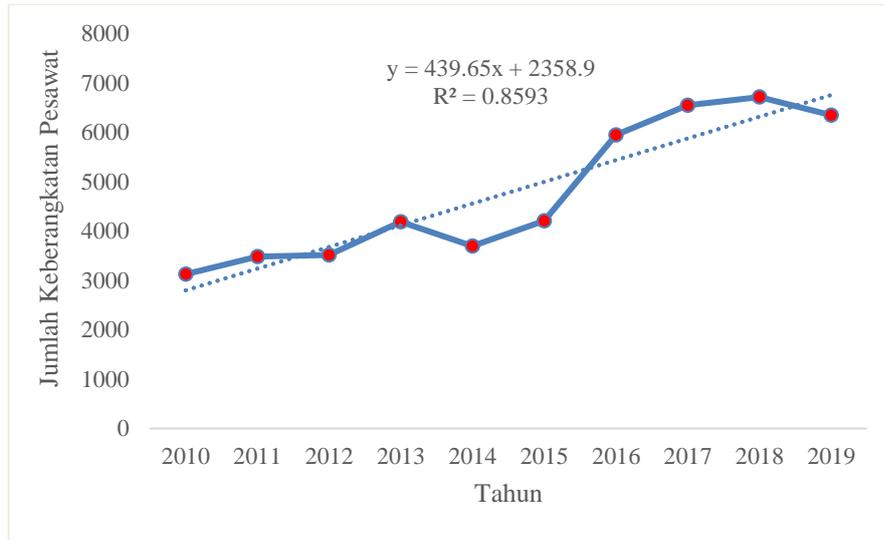
1. Penelitian ini melakukan pengumpulan data yang diperlukan untuk evaluasi perkerasan *apron* Bandara Mutiara Sis Al-Jufri Palu yang diperoleh dari Kantor UPBU Kelas 1 Bandara Mutiara Sis Al-Jufri Palu serta mengadakan wawancara langsung di lapangan.
2. Pergerakan lalu lintas udara baik pesawat maupun penumpang dalam kurun waktu 10 tahun terakhir.
3. Pesawat rencana yang digunakan sesuai dengan pertimbangan yang ada yaitu tipe pesawat Boeing 737-900ER.
4. Peramalan lalu lintas udara untuk 20 tahun mendatang dilakukan dengan menggunakan metode *time series* pada pesawat rencana tipe B737-900ER.
5. Perancangan tebal perkerasan *apron* didasarkan grafik pada metode FAA.
6. Menghitung tegangan dan defleksi.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Data Lalu Lintas Udara 20 Tahun Mendatang

Data lalu lintas udara 20 tahun mendatang diperlukan dalam melakukan peramalan atau prediksi jumlah pergerakan pesawat dan penumpang kedepannya di Bandar Udara Mutiara Sis Al-Jufri Palu sehingga dapat melayani kebutuhan penerbangan masyarakat menjadi lebih baik di Kota Palu tersebut. Analisis peramalan dengan menggunakan metode *time series* dibagi

menjadi dua model yaitu regresi linier dan *exponential smoothing* dengan bantuan *software microsoft excel* pada keberangkatan pesawat 10 tahun terakhir yaitu tahun 2010 hingga tahun 2019 sehingga diperoleh persamaan jumlah pergerakan pesawat pada model regresi linier dan *exponential smoothing*.



Gambar 4.1 Grafik pertumbuhan jumlah keberangkatan pesawat Bandara Mutiara Sis Al-Jufri Palu tahun 2010-2019 dengan trendline regresi linear
Sumber: Hasil Perhitungan

Dari Gambar 4.1 di atas, diperoleh persamaan regresi linear yaitu:

$$y = 439,65x + 2358,9$$

Dengan nilai koefisien determinasi $R^2 = 0,8593$, dimana bahwa variabel x (tahun) berpengaruh secara simultan terhadap variabel y (jumlah keberangkatan pesawat) sebesar 85,93%.

Tabel 4.2 Hasil *forecasting* keberangkatan pesawat 20 tahun menggunakan persamaan

Tahun	Periode ke- (X)	$y = a + bx$
2020	11	7195
2021	12	7635
2022	13	8074
2023	14	8514
2024	15	8954
2025	16	9393
2026	17	9833
2027	18	10273
2028	19	10712
2029	20	11152
2030	21	11592
2031	22	12031
2032	23	12471
2033	24	12910
2034	25	13350
2035	26	13790
2036	27	14229
2037	28	14669
2038	29	15109
2039	30	15548

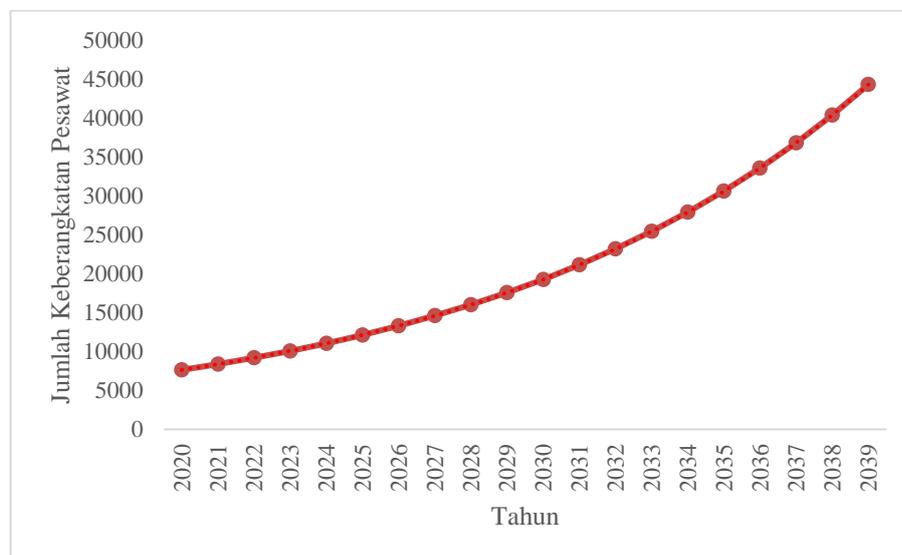
Sumber: Hasil Perhitungan

Dari tabel di atas diketahui prediksi jumlah keberangkatan pesawat Bandara Udara Mutiara Sis Al-Jufri Palu untuk tahun 2039 yaitu sebanyak 15.548 pesawat.

Tabel 4.3 Hasil *forecasting* keberangkatan pesawat 20 tahun mendatang dengan metode *exponential smoothing*

Tahun	Periode ke- (X)	$y = a + ebx$
2020	11	7633
2021	12	8373
2022	13	9184
2023	14	10074
2024	15	11051
2025	16	12122
2026	17	13296
2027	18	14585
2028	19	15998
2029	20	17549
2030	21	19250
2031	22	21115
2032	23	23161
2033	24	25406
2034	25	27868
2035	26	30569
2036	27	33532
2037	28	36781
2038	29	40346
2039	30	44256

Sumber: Hasil Perhitungan



Gambar 4.2 Grafik pertumbuhan jumlah keberangkatan pesawat Bandar Udara Mutiara Sis Al-Jufri Palu tahun 2010-2019 dengan trendline *exponential smoothing*

Sumber: Hasil Perhitungan

Dengan menggunakan trendline *exponential smoothing* maka diperoleh nilai koefisien determinasi yaitu $R^2 = 0,8807$ yang artinya bahwa variabel X (tahun) berpengaruh secara simultan terhadap variabel Y (jumlah keberangkatan pesawat) sebesar 88,07% dengan memperoleh jumlah pergerakan pesawat pada tahun 2039 sebanyak 44.256 pesawat. Berdasarkan data di atas, digunakan metode dengan model *exponential smoothing* dengan nilai koefisien determinasi yang lebih mendekati 1 dan total pergerakan pesawat terbanyak.

4.2 Perancangan Tebal Perkerasan Kaku

Data hasil peramalan jumlah keberangkatan untuk setiap pesawat pada tahun 2039 yang dapat digunakan dalam mendesain perkerasan kaku apron Bandar Udara Mutiara Sis Al-Jufri Palu untuk 20 tahun mendatang dilihat pada Tabel 4.4. Perbedaan dengan perancangan perkerasan pada kondisi eksisting yaitu perancangan untuk 20 tahun mendatang menggunakan data-data jumlah keberangkatan pesawat pada tahun 2039 yaitu pada hasil jumlah keberangkatan tahunan (*annual departure*) pesawat campuran (R_2) dan perhitungan nilai equivalent annual departure (R_1) sehingga akan mempengaruhi besarnya perancangan tebal perkerasan kaku untuk 20 tahun mendatang. Hasil perhitungan untuk nilai R_2 dapat dilihat pada Tabel 4.5 dan hasil perhitungan untuk nilai R_1 dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.4 Hasil jumlah keberangkatan berdasarkan tipe pesawat untuk tahun 2039

No	Tipe Pesawat	Presentase Tipe Pesawat (%)	Jumlah Keberangkatan Pesawat
1	B 737-900ER	13,06	5.780
2	B 737-800	29,42	13.020
3	A 320-200	17,03	7.537
4	ATR 72-600	38,80	17.171
5	Cessna 208	1,69	748
Jumlah		100	44.256

Sumber: Hasil Perhitungan

Berdasarkan Tabel 4.4 di atas, dapat dilihat bahwa jumlah keberangkatan pesawat untuk tahun 2039 yang dihitung berdasarkan presentase untuk tiap pesawat yaitu sebesar 44.256 pesawat.

Tabel 4.5 Hasil perhitungan jumlah keberangkatan tahunan (*annual departure*) pesawat campuran (R_2) untuk tahun 2039

No	Jenis Pesawat	Jumlah Keberangkatan Tahun 2039	Konfigurasi Roda Pesawat	Faktor Pengali	R_2
1	Boeing 737-900ER	5.780	Dual Wheel	1	5.780
2	Boeing 737-800	13.020	Dual Wheel	1	13.020
3	Airbus 320-200	7.537	Dual Wheel	1	7.537
4	ATR 72-600	17.171	Dual Wheel	1	17.171
5	Cessna 208	748	Dual Wheel	0,8	598
Jumlah		44.256			44.106

Sumber: Hasil Perhitungan

Berdasarkan Tabel 4.5 di atas, dapat dilihat bahwa jumlah keberangkatan tahunan (*annual departure*) untuk semua pesawat pada tahun 2039 yaitu sebanyak 44.106 pesawat.

Tabel 4.6 Hasil Perhitungan nilai equivalent annual departure (R_1) untuk tahun 2039

No	Jenis Pesawat	Jumlah Keberangkatan Tahun 2039	R_2	W1	W2	R_1
1	Boeing 737-900ER	5.780	5.780	44.698	44.698	5.780
2	Boeing 737-800	13.020	13.020	44.698	41.491	9.210
3	Airbus 320-200	7.537	7.537	44.698	38.890	4.136
4	ATR 72-600	17.171	17.171	44.698	12.042	158
5	Cessna 208	748	598	44.698	4.183	7
Equivalent Annual Departure						19.291

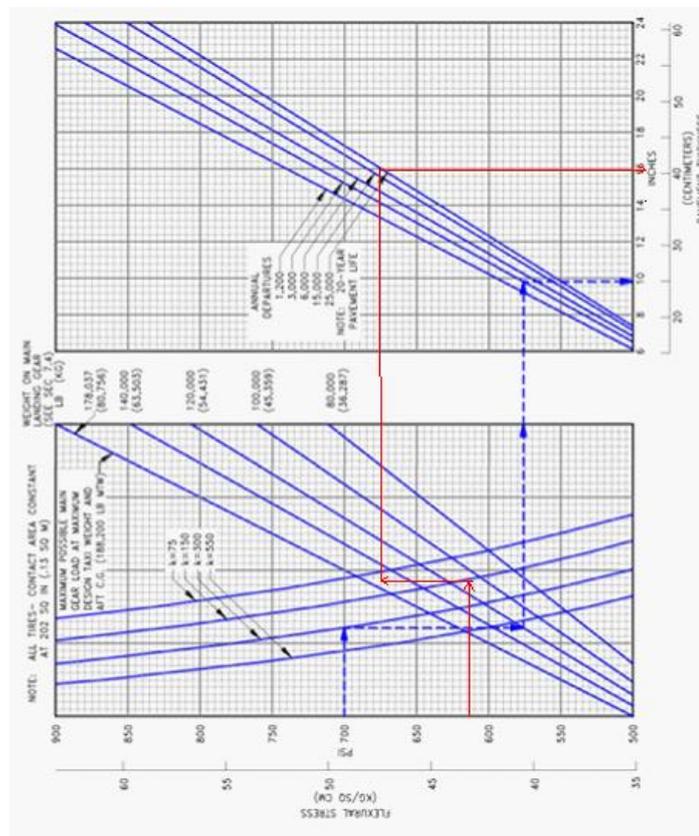
Sumber: Hasil Perhitungan

Dari Tabel 4.6 di atas dapat dilihat bahwa untuk nilai *equivalent annual departure* untuk semua tipe pesawat di tahun 2039 yaitu sebanyak 19.291 pesawat

Berdasarkan perhitungan diatas dan perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya pada perancangan tebal perkerasan kaku pada tahun 2019, maka data – data yang digunakan dalam penentuan tebal perkerasan kaku dengan menggunakan kurva metode FAA yaitu sebagai berikut.

- Flexural strength* = 620 psi
- Equivalent annual departure* = 19.291 pesawat
- k subbase* = 300 psi
- Weight on MLG pesawat rencana* = $92\% \times 188.200$
= 173.144 lbs \approx 173.000 lbs

Data di atas kemudian dimasukkan ke dalam kurva untuk mendapatkan tebal dari perkerasan kaku apron. besarnya tebal perkerasan kaku metode FAA untuk tipe pesawat B737 – 900ER dapat dilihat pada Gambar 4.3 [7].

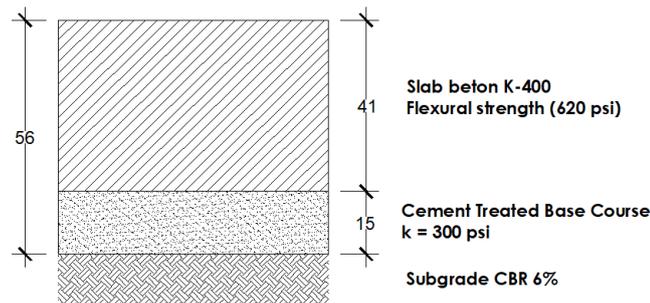


Gambar 4.3 Hasil perancangan tebal perkerasan kaku, FAA pesawat Boeing 737-900ER untuk tahun 2039
Sumber: Boeing, 2020

Dengan menggunakan kurva Gambar 4.3 masukkan nilai *flexural strength* sebesar 620 psi pada kemudian tarik garis lurus hingga mengenai nilai *k* sebesar 300 psi, kemudian tarik garis ke atas sesuai dengan nilai *weight on main landing gear* yang diperoleh yaitu sebesar 173.000 lbs kemudian tarik garis ke kanan hingga mengenai garis *annual departure* sebesar 19.291 pesawat kemudian tarik garis lurus ke bawah pada kurva untuk mendapatkan desain tebal perkerasan kaku dengan metode FAA pada tipe pesawat Boeing 737 – 900ER diperoleh tebal slab beton sebesar 16 inci \approx 40,6 cm \approx 41 cm. Untuk mendapatkan tebal perkerasan akhir maka dikalikan dengan faktor aman pelaksanaan sebesar 100%. Sehingga hasil akhir tebal perkerasan kaku untuk 20 tahun yang akan datang dengan menggunakan metode FAA yaitu:

Slab beton = $41 \text{ cm} \times 100\% = 41 \text{ cm}$

Subbase course = 15 cm × 100% = 15 cm



Gambar 4.4 Detail perancangan perkerasan kaku untuk 20 tahun mendatang
Sumber: Hasil Perhitungan

4.3 Menentukan Tegangan dan Defleksi Perkerasan Kaku

1. Menghitung beban yang diturunkan ban pada slab beton (P)

$$P = \frac{\% \times MTW}{2}$$

$$P = \frac{95\% \times 188200}{2} = 89.395 \text{ lb}$$

2. Menghitung *radius of a circle with the same contact area*

$$a = \sqrt{\frac{P}{\pi \times p}}$$

$$a = \sqrt{\frac{89395}{\pi \times 220}} = 11,37 \text{ inch}$$

3. Menghitung nilai modulus elastisitas

Bandara Mutiara Sis Al-Jufri Palu menggunakan mutu K-400 dengan kuat tekan (f_c) 400 kg/cm² atau 39,2 MPa.

$$\begin{aligned} \text{Modulus elastisitas (E)} &= 4700 \sqrt{f_c'} \\ &= 4700 \sqrt{39,2} = 29426,65 \text{ MPa} = 4267748 \text{ psi} = 4,2 \times 10^6 \text{ psi} \end{aligned}$$

4. Menentukan nilai *poisson ratio*

Berdasarkan nilai modulus elastisitas, maka pada perancangan ini menggunakan material yaitu *portland cement concrete*. Nilai *poisson ratio* untuk material ini sebesar 0,15 dimana nilai yang digunakan yaitu nilai tipikal karena menurut Huang (2004) [8] nilai *poisson ratio* tidak memiliki pengaruh yang terlalu besar sehingga diambil nilai tipikal tersebut daripada harus melakukan uji langsung.

5. Menghitung nilai *modulus of subgrade reaction* (k)

Bandara Mutiara Sis Al-Jufri Palu memiliki CBR sebesar 6%. Sedangkan untuk *modulus of subgrade reaction* atau reaksi tanah dasar (k) digunakan data dari hasil perhitungan perancangan tebal perkerasan dengan menggunakan metode FAA yaitu nilai k sebesar 300 psi.

6. Menghitung nilai *radius of relative stiffness* (l)

Tebal slab beton (d) yaitu sebesar 41 cm = 16,14 inch

$$l = \sqrt[4]{\frac{Ed^3}{12(1-\nu^2)k}}$$

$$l = \sqrt[4]{\frac{4,2 \times 10^6 \times 16,14^3}{12(1-0,15^2)300}} = 47,33 \text{ inch}$$

7. Menentukan tegangan ijin dan defleksi maksimum yang dizinkan

- a. Menghitung tegangan yang diijinkan untuk beton normal

$$\sigma_{ijin} = MR \times stressratio$$

$$\sigma_{ijin} = K\sqrt{fc'} \times stressratio$$

$$\sigma_{ijin} = 9\sqrt{400} \text{ kg/cm}^2 \times 0,61$$

$$\sigma_{ijin} = 109,8 \text{ kg/cm}^2 = 1561,356 \text{ lb/inch}^2$$

- b. Menghitung defleksi maksimum yang diijinkan

Jarak antar *joint* slab yang digunakan yaitu sebesar 6 m.

$$\Delta_{ijin} = \frac{L}{480}$$

$$\Delta_{ijin} = \frac{6 \times 39,3701}{480} = 0,49 \text{ inch}$$

8. Menghitung tegangan dan defleksi akibat *interior load* pada slab beton.

Tabel 4.7 Rangkuman hasil perhitungan tegangan dan defleksi untuk masing-masing jenis *load*

Jenis Load/Beban	Tegangan		Defleksi		Keterangan
	Hasil Perhitungan	Yang Diizinkan	Hasil Perhitungan	Yang Diizinkan	
<i>Interior Load</i>	395,59 lb/inch ²	1561,356 lb/inch ²	0,016 inch	0,49 inch	Aman/layak digunakan
<i>Edge Load</i>	717,43 lb/inch ²	1561,356 lb/inch ²	0,046 inch	0,49 inch	Aman/layak digunakan
<i>Corner Load</i>	472,87 lb/inch ²	1561,356 lb/inch ²	0,121 inch	0,49 inch	Aman/layak digunakan

Sumber: Hasil perhitungan

Berdasarkan Tabel 4.7 di atas, dapat dilihat bahwa hasil dari perhitungan tegangan dan defleksi dari masing-masing *load* di atas bahwa tebal slab beton yang dihasilkan sebesar 41 cm aman untuk digunakan pada Bandara Mutiara Sis Al-Jufri Palu.

4.4 Menghitung *Fatigue Perkerasan Kaku*

Tabel 4.7 Nilai LRF dan PCR berdasarkan konfigurasi sumbu roda pesawat

No	Konfigurasi Sumbu Roda	Pass To Coverage Ratio, PCR	Faktor Repetisi Beban, LRF
1	Sumbu Tunggal Roda Tunggal (S)	5,18	0,193
2	Sumbu Tunggal Roda Ganda (D)	3,48	0,287
3	Sumbu Tandem Roda Ganda (DT)	3,68	0,727
4	Sumbu Tandem Roda Ganda Dobel (DDT)	3,7*)	0,270

Sumber: ICAO, 1983 [2]

1. Menentukan nilai *stress* yang terjadi

Nilai *stress* yang terjadi didapatkan dengan menggunakan nilai dari *flexural strength* yang didapatkan dari kurva perancangan tebal perkerasan metode PCA dengan menentukan besar dari tebal slab beton dan memasukkan data-data yang telah didapatkan sebelumnya.

2. Menghitung *stress ratio*

Nilai dari *stress ratio* didapatkan dengan membagikan nilai *flexural* dan *modulus of rupture* rencana menggunakan rumus sebagai berikut.

$$stress\ ratio = \frac{flexural\ stress}{MR\ rencana}$$

$$MRR = M_R 90 \times \left(1 - \frac{V}{100}\right) \times M$$

$$MRR = 43,59 \times \left(1 - \frac{0,13}{100}\right) \times 1,10$$

$$MRR = 47,82 \text{ kg/cm}^2$$

Tabel 4.8 Variasi kekuatan beton

Rating Pengontrolan Pengecoran	Koefisien Variasi (V) %
<i>Excellent</i>	Dibawah 10
<i>Good</i>	10 – 15
<i>Fair</i>	15 – 20
<i>Poor</i>	Dibawah 20

Sumber: Packard, 1973[9]

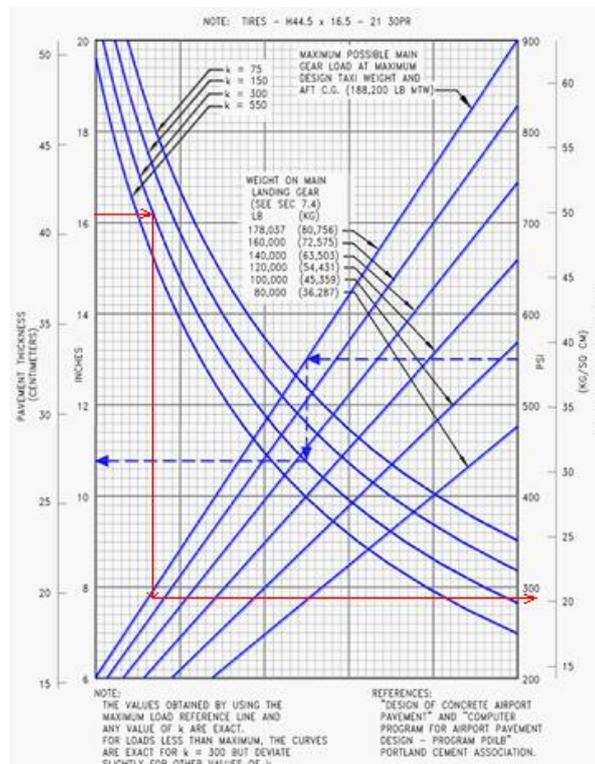
Maka nilai *stress ratio* untuk pesawat Boeing 737-900ER yaitu:

Di contohkan yaitu pada kurva perancangan tebal perkerasan metode PCA maka nilai *flexural stress* didapatkan sebesar 288 psi = 20,25 kg/cm² untuk jenis pesawat Boeing 737-900ER yang dapat dilihat pada Gambar 4.5.

$$\text{stress ratio} = \frac{\text{flexural stress}}{\text{MR rencana}}$$

$$\text{stress ratio} = \frac{20,25}{47,82} = 0,42$$

Karena nilai *stress ratio* < 0,51 maka *fatigue* pada beton dapat menerima beban repetisi sampai pengulangan yang tak terhingga.



Gambar 4.5 Grafik perancangan tebal perkerasan kaku pesawat Boeing 737-900ER metode PCA menentukan nilai *flexural stress*

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari kurva Gambar 4.5 di atas, nilai *flexural stress* diperoleh berdasarkan tebal slab beton sebesar 41 cm sehingga nilai *flexural stress* yang didapatkan dari grafik sebesar 288 psi. Nilai tersebut didapatkan dengan cara memasukkan nilai 41 cm ke grafik kemudian tarik garis lurus ke kiri hingga mengenai garis *weight on main landing gear* sebesar 173.200 lbs kemudian tarik garis lurus ke atas hingga mengenai garis $k = 300$ psi, terakhir yaitu menarik garis lurus ke kiri hingga mendapatkan nilai *flexural stress* sebesar 288 psi.

4.5 Menghitung Tegangan Pengaruh Perubahan Suhu

Nilai perubahan temperatur diperoleh dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Prawesti (2019)[10] tentang evaluasi perkerasan kaku di apron dengan menggunakan finite element method pada studi kasus terminal 3 Bandar Udara Internasional Soekarno-Hatta. Nilai perubahan temperatur pada permukaan atas dan permukaan bawah beton dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Nilai temperatur pada permukaan atas dan permukaan beton

Permukaan	Nilai Temperatur (°C)	
	Siang	Malam
Atas	55	25
Bawah	25	30

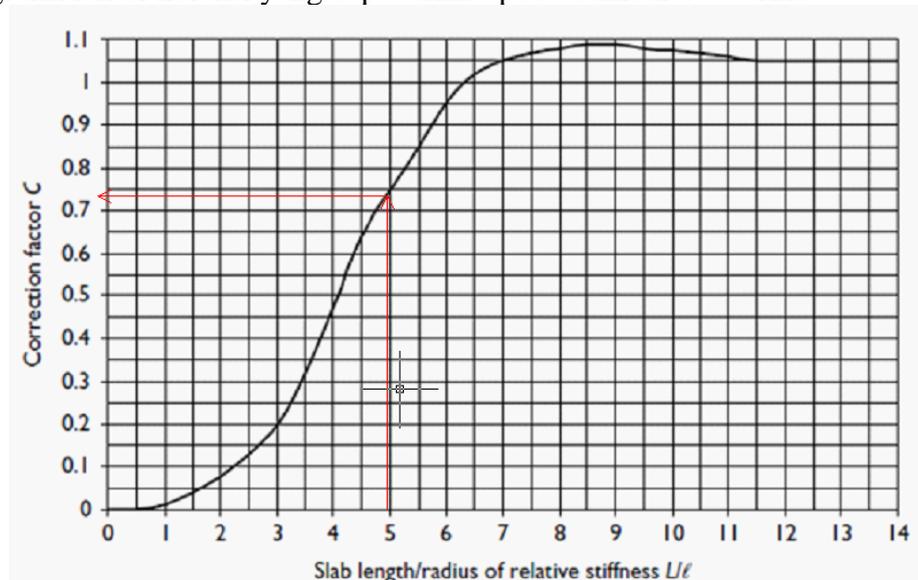
Sumber: Prawesti, 2019

1. Faktor koreksi (C)

Nilai dari faktor koreksi dapat diperoleh dengan menggunakan grafik yang mana besaran nilai C bergantung pada panjang *joint* slab (L) dan *radius of relative stiffness* (l).

$$\frac{L}{l} = \frac{6 \times 39,3701}{47,33} = 4,99$$

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, diperoleh nilai L/l sebesar 4,99 kemudian dimasukkan ke dalam grafik faktor koreksi yang dapat dilihat pada Gambar 4.6 berikut.



Gambar 4.6 Faktor koreksi tegangan *curling* pada pelat beton

Sumber: Bradbury, 1983 [6]

Berdasarkan grafik pada Gambar 4.6 di atas, dengan memasukkan nilai hasil perhitungan L/l sebesar 4,99 kemudian ditarik garis lurus ke atas hingga mengenai garis lengkung, kemudian tarik garis lurus ke kiri sehingga diperoleh nilai faktor koreksi tegangan *curling* pelat beton sebesar 0,74.

2. Ekspansi termal beton

Nilai dari ekspansi termal beton diperoleh berdasarkan jenis agregat kasar yang digunakan. Jenis agregat yang digunakan pada apron Bandara Mutiara Sis Al-Jufri Palu yaitu kerikil sehingga nilai ekspansi termal beton yang diperoleh yaitu sebesar $3,3 \times 10^{-6}$ yang ditunjukkan Tabel 4.10 berikut.

Tabel 4.10 Nilai tipikal untuk PCC CTE (α) (AASHTO, 1993)

Type of coarse aggregate	PCC CTE α (10-6/degree)	
	Per degree C	Per degree F
Quartz	3,7	6,6
Sandstone	3,6	6,5
Gravel	3,3	6,0
Granite	2,9	5,3
Basalt	2,7	4,8
Limestone	2,1	3,8

Sumber: AASHTO,1993[11]

Nilai dari modulus elastisitas dan *poisson ratio* telah diperoleh dari perhitungan sebelumnya, sehingga data-data yang akan dibutuhkan dalam perhitungan tegangan akibat perubahan suhu adalah sebagai berikut.

- Perbedaan temperatur
= temperatur permukaan atas – temperatur permukaan bawah
= $55^{\circ}\text{C} - 22^{\circ}\text{C} = 30^{\circ}\text{C}$
- Faktor koreksi : 0,74
- Ekspansi termal beton : $3,3 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
- Modulus elastisitas : $4,2 \times 10^6$ psi
- Poisson ratio* : 0,15

Sehingga tegangan akibat perubahan temperatur dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.1) sebagai berikut.

$$\sigma = \frac{CE\alpha\Delta t}{2(1-\nu^2)}$$

$$\sigma = \frac{0,74 \times 4,2 \times 10^6 \times 3,3 \times 10^{-6} \times 30}{2(1-0,15^2)}$$

$$\sigma = 157,38 \text{ psi} \approx 157 \text{ psi} \approx 157 \text{ lb/in}^2$$

4.6 Menghitung Tegangan Tambahan

Tabel 4.11 Rangkuman hasil perhitungan tegangan tambahan untuk masing-masing jenis load

Jenis beban	Tegangan	
	Sebelum ditambahkan tegangan akibat perbedaan temperatur	Setelah ditambahkan tegangan akibat perbedaan temperatur
Interior load	395,67 lb/inch ²	552,67 lb/inch ²
Edge load	717,43 lb/inch ²	874,43 lb/inch ²
Corner load	472,87 lb/inch ²	629,87 lb/inch ²

Sumber: Hasil Perhitungan

Berdasarkan Tabel 4.11 di atas menunjukkan nilai tegangan sebelum dan sesudah ditambahkan dengan tegangan akibat perbedaan temperatur dimana nilai tegangan terbesar terjadi di *edge load*.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil evaluasi tebal perkerasan kaku *apron* Bandara Mutiara Sis Al-Jufri didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Tebal perkerasan kaku (*apron*) Bandara Mutiara Sis Al-Jufri diperoleh perkerasan kaku untuk 20 tahun mendatang dibutuhkan slab beton sebesar 41 cm dan *subbase course* 15 cm.
2. Berdasarkan kondisi eksisting tebal slab beton yaitu sebesar 36 cm, maka perlu dilakukan penambahan pada tebal slab beton sebesar 5 cm sehingga dapat memikul beban lalu lintas pesawat untuk 20 tahun mendatang. Sedangkan untuk *subbase course* tidak perlu dilakukan konstruksi kembali sehingga perkerasan tersebut dapat melayani lalu lintas pesawat untuk 20 tahun mendatang.

Daftar Pustaka

- [1] Huzeirien, H., dan Dahlan, M, E., 2018, Analisa Perencanaan Perkerasan Kaku (Rigid Pavement) Apron Bandar Udara Sultan Thaha Syaifuddin Jambi, Jurnal Civronlit Unbari, 2(2), 24-33.
- [2] ICAO, 1983, *Aerodrome Design Manual Part 3 Pavements Second Edition*, Montreal Canada: International Civil Aviation Organization.
- [3] Kosasih, D., dan Fibryanto, A., 2005, Analisis Kerusakan Retak Lelah pada Struktur Perkerasan Kaku Landasan Pesawat Udara dengan menggunakan Program Airfield, Jurnal Teknik Sipil, ITB, Bandung.
- [4] FAA, 1996, *Surface Movement Guidance and Control System, Advisory Circular 120-57A*, United State: Federal Aviation Administration.
- [5] Horonjeff, R., dan McKelvey, F, X., 1988, Perencanaan dan Perancangan Bandar Udara, Jakarta: Erlangga.
- [6] Bradbury, R.D., 1938, *Reinforced Concrete Pavements*, Washington, DC: Wire Reinforcement Institute.
- [7] Boeing, 2020, *Airplane Characteristics for Airport Planning*, Washington D.C : Boeing Commercial Airplane.
- [8] Huang, Y.H., 2004, *Pavement Analysis and Design, 2nd Edition*, Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall.
- [9] Packard, R. G., 1973, PCA Engineering Bulletin, Desain of Concrete Airport Pavement, Illinois : Portland Cement Assosation.
- [10] Prawesti, P., Suhendro, B., & Hapsoro, S., 2019, *Evaluation of rigid pavement on apron of terminal 3 Soekarno-Hatta International Airport using finite element method*, In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 270, p. 03005), EDP Sciences.
- [11] AASHTO, 1993, *Guide for Design of Pavement Structures*, Washington, DC: American Association of State Highway and Transportation Officials.