

PERBANDINGAN UMUR LAYAN TERHADAP PERUBAHAN NILAI PARAMETER DESAIN PADA PERKERASAN KAKU DI APRON BANDAR UDARA

Erlangga Maulana Basuki

Program Studi Teknik Sipil,
Institut Teknologi Nasional Bandung
Jl. Khp Hasan Mustopa No.23, Neglasari,
Cibeunying Kaler, Kota Bandung, Jawa Barat
40124

Barkah Wahyu Widiyanto¹

Program Studi Teknik Sipil,
Institut Teknologi Nasional Bandung
Jl. Khp Hasan Mustopa No.23, Neglasari,
Cibeunying Kaler, Kota Bandung, Jawa Barat
40124

Abstract

some pavements at airport facilities that suffered damage before the planned service life were mainly on the apron. Several design parameters, such as material quality, CBR subgrade, and annual departure, influence the service age of the hardening. This research aims to compare the service life to the changes in design parameters during rigid pavements of the apron. The method used is Federation Aviation Administration AC 150/5320-6G with FAARFIELD V 2.0.18 software. The analysis was carried out with alternative measures of decreased concrete plate material quality, decreased CBR Subgrade, and increased annual departure. Based on the results of the research, the model for the change of conditions from 0 - 50% to service life on the CBR subgrade is $y = 20.239e^{-0.008x}$, on the annual departure is $y = 19.832e^{-0.006x}$, and on the quality of concrete slab material is $y = 25,165e^{-0.119x}$. The quality of the concrete plate material is the biggest design parameter that causes a change in service life compared with other design parameters because it has the largest exponential value (reduction life service).

Keywords: service life, CBR subgrade, annual departure, quality material of concrete slab, apron

Abstrak

Beberapa perkerasan pada fasilitas bandar udara yang mengalami kerusakan sebelum umur layan yang direncanakan terutama pada apron. Umur layan pada perkerasan dipengaruhi oleh beberapa parameter desain seperti mutu material, CBR *subgrade*, dan *annual departure*. Tujuan penelitian ini untuk membandingkan umur layan terhadap perubahan parameter desain perkerasan kaku di apron. Metode yang digunakan adalah metode *Federation Aviation Administration AC 150/5320-6G* dengan *software* FAARFIELD V 2.0.18. Analisis dilakukan dengan melakukan alternatif penurunan mutu material, penurunan nilai CBR *subgrade*, dan peningkatan *annual departure*. Berdasarkan hasil analisis, diperoleh model perubahan kondisi dari 0 - 50% terhadap umur layan pada CBR *subgrade* yaitu $y = 20.239e^{-0.008x}$, pada *annual departure* yaitu $y = 19.832e^{-0.006x}$, dan pada mutu material pelat beton yaitu $y = 25,165e^{-0.119x}$. Mutu material pelat beton menjadi parameter desain yang mengalami perubahan umur layan paling besar dibandingkan dengan parameter desain lainnya karena memiliki nilai eksponensial (penurunan umur layan) yang paling besar.

Kata Kunci: umur layan, CBR *subgrade*, *annual departure*, mutu material pelat beton, apron

PENDAHULUAN

Apron bandar udara dirancang memiliki kekuatan struktur yang mampu menahan beban pesawat udara ketika melakukan kegiatan saat pesawat berhenti. *Federal Aviation Administration* (FAA) mengembangkan sebuah *software* yaitu *Federal Aviation Administration Rigid and Flexible Iterative Elastic Layered Design* (FAARFIELD) yang diatur dalam standar desain FAA yaitu pedoman AC 150/5320-6G, *Airport Pavement*

¹ Corresponding author: erlangabasuki21@gmail.com

Design and Evaluation. *Software* tersebut berfungsi untuk merancang dan menganalisis kebutuhan tebal lapisan perkerasan dan umur layan pada sisi udara bandar udara. Parameter yang dibutuhkan pada *software* tersebut meliputi nilai CBR *subgrade*, data *annual departure*, dan nilai mutu material. Menurut Audi (2022), bahwa CBR *Subgrade* memiliki pengaruh paling tinggi terhadap umur layan perkerasan lentur di landasan pacu bandar udara. Pada Perkerasan kaku memiliki struktur yang berbeda dengan perkerasan lentur dalam memikul beban yang direncanakan, sehingga bisa saja parameter yang mempengaruhi umur layan berbeda dari perkerasan lentur.

Berdasarkan latar belakang diatas, maka dengan parameter seperti CBR *subgrade*, *annual departure*, dan mutu material dapat dilakukan analisis pada perkerasan kaku, namun dengan lokasi yang berbeda yaitu pada apron bandar udara. Hal ini karena belum diketahui antara ketiga parameter tersebut yang paling mempengaruhi terhadap perkerasan kaku di apron. Pada penelitian ini akan dilakukan simulasi untuk mengetahui parameter mana yang paling berpengaruh terhadap perkerasan kaku di apron.

LANDASAN TEORI

Perkerasan Apron

Apron adalah area yang telah ditentukan di bandar udara yang berfungsi sebagai tempat parkir pesawat dengan beberapa aktifitas yang dilakukan seperti mengakomodasi pesawat untuk menaikkan dan menurunkan penumpang, barang serta mengisi bahan bakar selama umur layan tanpa terjadi kerusakan struktural. Perkerasan pada apron umumnya menggunakan perkerasan kaku karena lebih baik ketika menahan beban pesawat sebagai beban statis dan meminimalisir masuknya tumpahan minyak/air saat pengisian bahan bakar ke dalam lapisan perkerasan. Struktur perkerasan kaku bandar udara berdasarkan AC No: 150/5320-6G tahun 2021 dari lapisan paling atas ke lapisan bawah meliputi:

1. Lapisan permukaan (*surface course*).
2. Lapisan Stabilisasi (*Stabilized base*).
3. Lapisan Drainase (*drainage*)
4. Lapisan Pondasi Atas dan Bawah (*base course*).
5. Lapisan Pondasi Atas dan Bawah (*subbase course*).
6. Lapisan Pemisah Geosintetik (*geosynthetic separation*)
7. Lapisan Tanah Dasar (*subgrade*).

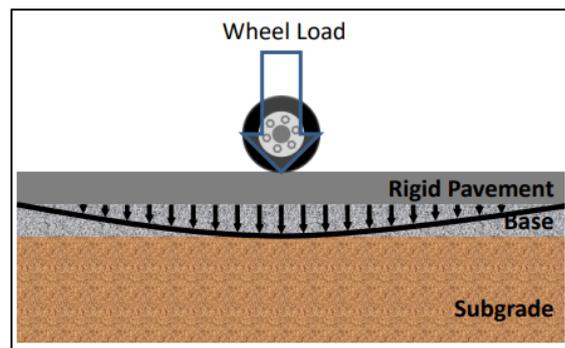
Perencanaan Perkerasan Bandar Udara menggunakan Metode Federal Aviation Administration (FAA)

Federal Aviation Administration (FAA) merupakan lembaga regulator yang bertanggung jawab sebagai pengatur dan pengawas penerbangan sipil di Amerika Serikat. FAA mengeluarkan panduan untuk merancang tebal perkerasan bandar udara yaitu *Advisory Circular* (AC) no 150/5320-6G menggunakan *software Federal Aviation Administration Rigid and Flexible Iterative Elastic Layered Design* (FAARFIELD). Hal yang perlu diperhatikan dalam merancang perkerasan kaku pada apron menggunakan metode FAA adalah sebagai berikut:

1. Modulus reaksi tanah dasar (k)
2. Modulus lentur beton (*flexural strength*)
3. Volume lalu lintas udara (*Annual Departures*)
4. Berat pesawat terbang (*Gross Weight Aircraft*)

Software Federal Aviation Administration Rigid and Flexible Iterative Elastic Layered Design (FAARFIELD V 2.0.18)

FAARFIELD V 2.0.18 merupakan software yang dikembangkan oleh FAA yang berfungsi untuk merancang tebal perkerasan lentur dan kaku. Prosedur perancangan tebal perkerasan bandar udara menggunakan FAARFIELD diatur dalam panduan yang dikeluarkan oleh FAA yaitu *Advisory Circular (AC) no 150/5320-6G*. Dalam perancangan tebal lapisan perkerasan kaku, Perkerasan beton memiliki modulus kekakuan yang cukup tinggi. Pelat beton dapat mendistribusikan beban dari atas menuju ke bidang tanah dasar dengan area yang cukup luas dibandingkan dengan perkerasan lentur. Kemampuan tersebut menunjukkan bahwa bagian terbesar dari kekuatan struktur perkerasan kaku diperoleh dari pelat beton sendiri. **Gambar 1** merupakan gambar ilustrasi pembebanan pada perkerasan kaku.



Sumber: Shreenath Rao dan Hesham Abdulla, 2017

Gambar 1. Ilustrasi Pembebanan Perkerasan Kaku

Faktor Penurunan Umur Layan

Menurut FAA, umur layan mengacu pada umur struktur yaitu waktu untuk perkerasan menerima repetisi beban sehingga mengalami kegagalan struktural. Kegagalan struktural pada perkerasan kaku terjadi pada lapisan atas atau slab beton karena repetisi beban pesawat, jenis material yang tidak bagus, dan kondisi tanah dasar yang tidak stabil. Parameter desain berpengaruh pada umur layan perkerasan meliputi *annual departure*, nilai *CBR subgrade*, dan mutu material.

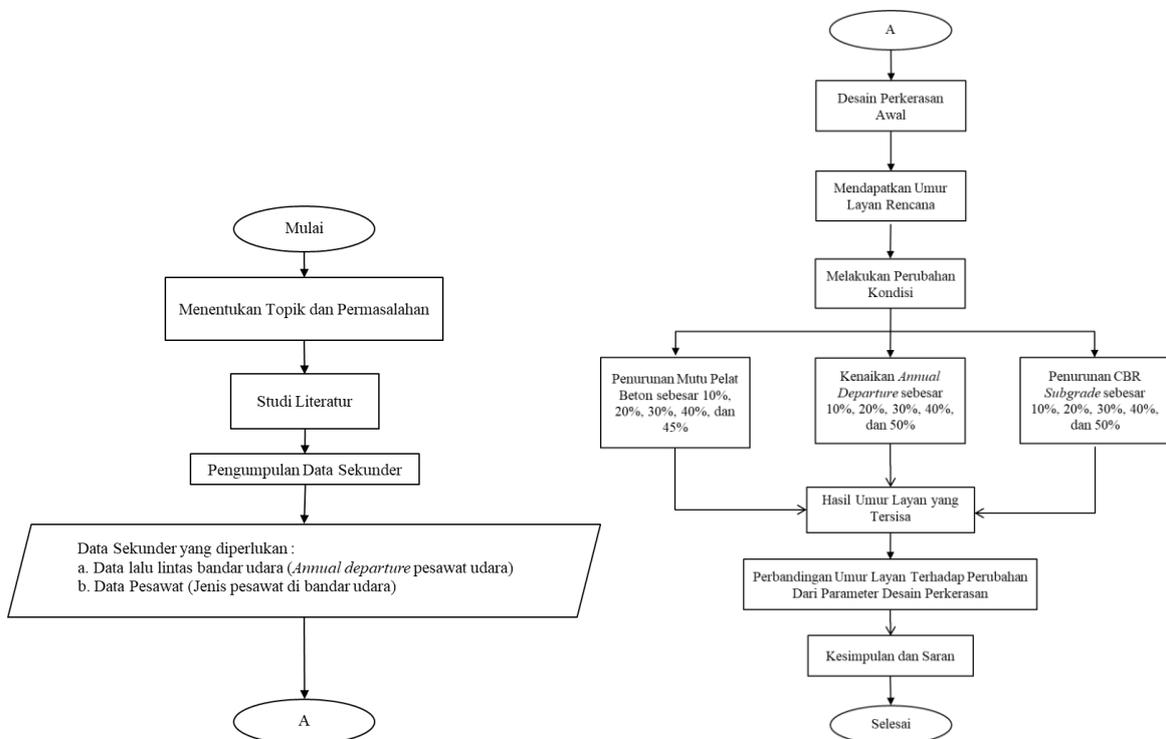
CBR Subgrade merupakan nilai yang menunjukkan kekuatan daya dukung pada lapisan tanah dasar dan dipakai pada proses perancangan tebal lapis perkerasan bandar udara. Nilai *CBR subgrade* dapat diperoleh dari *CBR Test* di laboratorium dan *CBR Test on site*. Nilai *CBR subgrade* mempengaruhi tebal perkerasan karena semakin besar nilai *CBR subgrade* maka semakin tipis lapis perkerasan yang dibutuhkan.

Mutu material pelat beton merupakan nilai yang menentukan kekuatan dari perkerasan kaku. nilai mutu beton akan memiliki kuat tekan yang besar sesuai dengan jenis mutu yang digunakan. Besarnya nilai kuat tekan menyatakan daya tahan perkerasan terhadap deformasi dalam menahan beban yang diberikan. Semakin besar mutu material yang digunakan maka semakin bagus lapisan perkerasan dalam menahan beban lalu lintas pesawat udara, namun biaya yang diperlukan juga semakin mahal.

Annual departure merupakan data dalam bentuk jumlah keberangkatan pesawat udara setiap tahunnya. Data *annual departure* berperan besar pada penentuan pesawat rencana karena tidak selalu pesawat dengan karakteristik paling besar yang dipilih, namun jumlah *annual departure* yang besar bisa menjadi pertimbangan. Peningkatan *annual departure* akan berdampak pada beban lalu lintas yang bekerja pada di apron dan mengakibatkan kerusakan pada perkerasan kaku di apron. Kerusakan akibat beban lalu lintas pesawat yang melebihi rencana dapat mengurangi umur kekuatan landasan dari saat pertimbangan desain (Karma, 2020).

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode FAA AC 150/5320-6G dengan bantuan *software* FAARFIELD. Data yang digunakan yaitu data sekunder seperti data lalu lintas bandar udara tahun 2012-2019 dan data jenis pesawat tahun 2019 dari penelitian Audi (2022)



Gambar 2. Bagan Alir Rencana Kerja

Penelitian ini dimulai dengan mendesain tebal perkerasan awal untuk mendapatkan umur layan rencana. Setelah diperoleh umur layan rencana, akan dilakukan perubahan kondisi dengan menurunkan nilai CBR *Subgrade* dan mutu pelat beton, serta menaikkan *annual departure* untuk setiap pesawat. Ketentuan perubahan kondisi yang dilakukan yaitu ketika salah satu parameter dilakukan perubahan, maka parameter lainnya tidak berubah/kondisi awal desain. Hasil umur layan yang diperoleh akan dilakukan perbandingan umur layan untuk mengetahui parameter mana yang paling berpengaruh terhadap perkerasan kaku pada apron.

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Data untuk Analisis

Data yang digunakan untuk menganalisis perubahan umur layan meliputi CBR *Subgrade*, *annual departure*, dan mutu material lapisan pelat beton. Data yang diperlukan adalah sebagai berikut:

1. Data Lalu Lintas Pesawat

Data jumlah penerbangan tahunan dan *annual departure* setiap pesawat yang melakukan lalu lintas di Bandar Udara Mutiara SIS Al-Jufri Palu diperoleh dari Kantor Unit Penyelenggara Bandar Udara Kelas 1 Mutiara Sis Al Jufri. Didapatkan data jumlah penerbangan tahunan dari tahun 2012 hingga 2019, sedangkan untuk data *annual departure* setiap pesawat digunakan dari tahun 2019 karena di tahun-tahun sebelumnya terdapat beberapa pesawat yang sudah tidak beroperasi. Data tersebut dapat dilihat pada Tabel 1. dan Tabel 2.

Tabel 1. Data Jumlah Penerbangan Tahunan Bandara Mutiara SIS Al-Jufri Palu Tahun 2012 - 2019

| No | Tahun | Total <i>Annual Departure</i> | Faktor Pertumbuhan |
|----|-------|-------------------------------|--------------------|
| 1 | 2012 | 3.751 | 0,00% |
| 2 | 2013 | 4.338 | 15,65% |
| 3 | 2014 | 3.879 | -10,58% |
| 4 | 2015 | 4.142 | 6,78% |
| 5 | 2016 | 5.880 | 41,96% |
| 6 | 2017 | 6.029 | 2,53% |
| 7 | 2018 | 6.101 | 1,19% |
| 8 | 2019 | 6.344 | 3,98% |
| | | rata rata | 8,79% |

Sumber: Kantor UPBU Kelas 1, 2022

Tabel 2. Data *Annual Departure* Pesawat Reguler di Bandara Mutiara SIS Al-Jufri Palu Tahun 2019

| No | Jenis Pesawat | MTOW (Kg) | <i>Annual Departure</i> 2019 |
|----|---------------|-----------|------------------------------|
| 1 | A320-200 | 78.400 | 690 |
| 2 | ATR-72 (D50) | 22.800 | 2.454 |
| 3 | B737-500 | 60.781 | 132 |
| 4 | B737-800 | 79.242 | 1.826 |
| 5 | B737-900 ER | 85.366 | 765 |

| No | Jenis Pesawat | MTOW (Kg) | Annual Departure 2019 |
|-------|---------------|-----------|-----------------------|
| 6 | CESSNA 208B | 3.969 | 84 |
| Total | | | 5.951 |

Sumber: Kantor UPBU Kelas 1, 2022

Dari Tabel 1 diketahui jumlah total penerbangan dari tahun 2012 - 2019 dengan faktor pertumbuhan volume lalu lintas rata rata sebesar 8,79%. Untuk umur rencana yang digunakan yaitu 20 tahun karena menggunakan *default* dari FAARFIELD. Untuk Tabel 2 diketahui jumlah *annual departure* untuk pesawat reguler di bandara Mutiara Sis Al Jufri Palu yang digunakan dalam analisis pada tahun 2019 dimana tidak termasuk pesawat kargo, pribadi dan militer.

2. Data CBR Subgrade

Pada penelitian ini digunakan nilai CBR *subgrade* sebesar 6% sebagai nilai CBR rencana dari penelitian sebelumnya oleh Audi (2022) yang selanjutnya menjadi nilai CBR utama.

Untuk nilai subgrade dengan CBR 6%, maka diperoleh nilai modulus reaksi tanah dasar (k) berdasarkan persamaan 3 diperoleh nilai k yaitu 31,4 MN/m³:

$$k = 28,6926 \times 6^{0,7788} \tag{1}$$

3. Data Mutu Beton

Pada penelitian ini asumsi dipakai jenis mutu beton K500 untuk lapisan permukaan pada pelat beton dengan besar modulus lentur beton (R) dengan mutu K500 sebesar 4,79 Mpa.

Perancangan Tebal Perkerasan Kaku Menggunakan Metode *Federal Aviation Administration (FAA)*

Perancangan dilakukan dengan menggunakan *software* FAARFIELD V 2.0.18. diperoleh tebal setiap lapisan dan umur layan utama seperti pada Gambar 3.

The screenshot shows the FAARFIELD software interface. The 'Job Name' is 'FAARFIELD MUTIARA SIS AL JL' and the 'Section Name' is 'DESAIN AWAL LIFE'. The 'Pavement Type' is set to 'New Rigid'. A table lists the pavement layers with their material, thickness, modulus of elasticity (E), modulus of reaction (k), and modulus of rupture (R). The analysis results on the right indicate 'New Rigid Analysis Completed' with a run time of 412 seconds and a life of 20.0 years.

| Material | Thickness (mm) | E (MPa) | k (MN/m ³) | R (MPa) |
|---------------------------|----------------|-----------|------------------------|---------|
| P-501 PCC Surface | 355 | 27,579.04 | | 4,79 |
| P-306 Lean Concrete | 150 | 4,826.33 | | |
| P-209 Crushed Aggregate | 300 | 357.95 | | |
| P-154 Uncrushed Aggregate | 300 | 109.39 | | |
| Subgrade | | 62.05 | 31.4 | |

Gambar 3. Tampilan Hasil Running Aplikasi FAARFIELD

Selanjutnya, dilakukan pemodelan perubahan parameter desain meliputi kenaikan *annual departure*, penurunan CBR *subgrade* dan penurunan mutu pelat beton untuk mengetahui

perbandingan umur layan terhadap perubahan parameter desain perkerasan kaku. Perubahan variasi nilai parameter desain ditunjukkan pada Tabel 3, Tabel 4, dan Tabel 5.

Tabel 3. Alternatif Perubahan CBR *Subgrade*

| No | Penurunan (%) | CBR Subgrade (%) |
|----|---------------|------------------|
| 1 | 0 | 6 |
| 2 | 10 | 5,4 |
| 3 | 20 | 4,8 |
| 4 | 30 | 4,2 |
| 5 | 40 | 3,6 |
| 6 | 50 | 3 |

Tabel 4. Alternatif Perubahan *Annual Departure*

| No | Peningkatan (%) | Jenis Pesawat | | | | | |
|----|-----------------|---------------|--------------|----------|----------|-------------|-------------|
| | | A320-200 | ATR-72 (D50) | B737-500 | B737-800 | B737-900 ER | CESSNA 208B |
| 1 | 0 | 690 | 2.454 | 132 | 1.826 | 765 | 84 |
| 2 | 10 | 759 | 2.699 | 145 | 2.009 | 842 | 92 |
| 3 | 20 | 828 | 2.945 | 158 | 2.191 | 918 | 101 |
| 4 | 30 | 897 | 3.190 | 172 | 2.374 | 995 | 109 |
| 5 | 40 | 966 | 3.436 | 185 | 2.556 | 1.071 | 118 |
| 6 | 50 | 1.035 | 3.681 | 198 | 2.739 | 1.148 | 126 |

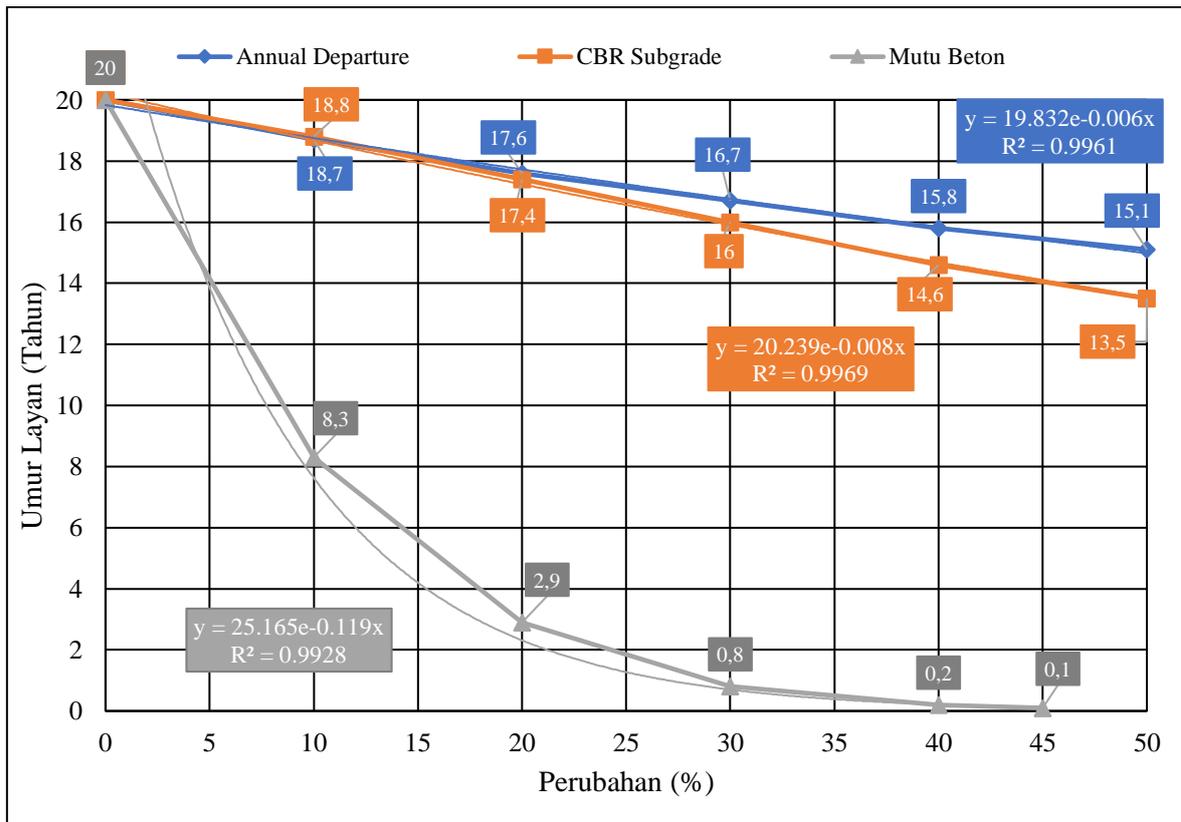
Tabel 5. Alternatif Perubahan Mutu Beton

| No | Penurunan (%) | K (kg/cm ²) | F'c (Mpa) | R (Mpa) |
|----|---------------|-------------------------|-----------|---------|
| 1 | 0 | 500 | 40,71 | 4,79 |
| 2 | 10 | 450 | 36,64 | 4,54 |
| 3 | 20 | 400 | 32,57 | 4,28 |
| 4 | 30 | 350 | 28,50 | 4,00 |
| 5 | 40 | 300 | 24,43 | 3,71 |
| 6 | 45 | 275 | 22,39 | 3,55 |

Data Tabel 3, Tabel 4, dan Tabel 5 merupakan data yang digunakan untuk melakukan simulasi (variasi perubahan) yang memiliki tujuan memperoleh model perubahan umur layan perkerasan kaku di apron bandar udara dengan tingkat hubungan variabel yang mendekati 1 (kuat).

Analisis Perbandingan Umur Layan Terhadap Perubahan Parameter Desain

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan terhadap perubahan parameter desain, hasil sisa umur layan yang diperoleh digambarkan dengan grafik seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Sisa Umur Layan Terhadap Perubahan *Annual Departure*, *CBR Subgrade* dan Mutu Beton

Pada Gambar 5, diketahui garis umur layan akibat perubahan mutu pelat beton (warna abu abu) berada di bawah garis umur layan akibat perubahan *CBR Subgrade* dan *annual departure*. Hal ini menunjukkan penurunan umur layan lebih dipengaruhi oleh mutu pelat beton dibandingkan dengan perubahan *CBR Subgrade* dan *annual departure*.

Tabel 6. Penurunan Umur Layan Akibat Perubahan Parameter Desain

| No | Perubahan Kondisi (%) | Sisa Umur Layan (Tahun) | | | Penurunan Umur Layan (Tahun) | | |
|----|-----------------------|-------------------------|---------------------------|------------|------------------------------|---------------------------|------------|
| | | Penurunan CBR Subgrade | Kenaikan Annual Departure | Mutu Beton | Penurunan CBR Subgrade | Kenaikan Annual Departure | Mutu Beton |
| 1 | 0 | 20 | 20 | 20 | 0 | 0,0 | 0 |
| 2 | 10 | 18,8 | 18,7 | 8,3 | 1,2 | 1,3 | 11,7 |
| 3 | 20 | 17,4 | 17,6 | 2,9 | 2,6 | 2,4 | 17,1 |
| 4 | 30 | 16 | 16,7 | 0,8 | 4 | 3,3 | 19,2 |
| 5 | 40 | 14,6 | 15,8 | 0,2 | 5,4 | 4,2 | 19,8 |
| 6 | 45 | - | - | 0,1 | - | - | 19,9 |
| 7 | 50 | 13,5 | 15,1 | - | 6,5 | 4,9 | - |

Tabel 6. menunjukkan rangkuman dari penurunan umur layan akibat perubahan parameter desain dari kondisi utama yaitu 20 tahun. Penurunan umur layan akibat perubahan kondisi mutu beton lebih besar pada setiap perubahan kondisi dibandingkan dengan parameter lain contohnya, terjadi penurunan sebesar 11,7 tahun dari umur layan rencana yaitu 20 tahun

akibat perubahan sebesar 10%. Nilai tersebut lebih besar dibandingkan dengan penurunan umur layan akibat penurunan CBR *Subgrade* yaitu 1,2 tahun dan penurunan umur layan akibat *annual departure* yaitu 1,3 tahun pada perubahan sebesar 10%.

Tabel 7. Nilai Rasio Umur Layan Akibat Perubahan Parameter Desain

| No | Perubahan Kondisi (%) | Rasio Penurunan Umur Layan | | |
|----|-----------------------|----------------------------|---------------------------|------------|
| | | Penurunan CBR Subgrade | Kenaikan Annual Departure | Mutu Beton |
| 1 | 0 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 2 | 10 | 0,060 | 0,065 | 0,585 |
| 3 | 20 | 0,130 | 0,120 | 0,855 |
| 4 | 30 | 0,200 | 0,165 | 0,960 |
| 5 | 40 | 0,270 | 0,210 | 0,990 |
| 6 | 45 | - | - | 0,995 |
| 7 | 50 | 0,325 | 0,245 | - |

Tabel 7 nilai perbandingan umur layan pada setiap persentase perubahan kondisi oleh parameter desain. Nilai rasio penurunan didapatkan dari perbandingan antara penurunan umur layan dan umur layan eksisting. Parameter desain dengan nilai rasio mendekati 1 merupakan parameter desain yang paling berpengaruh terhadap umur layan. Nilai rasio terbesar ada pada penurunan mutu beton 45% yaitu sebesar 0,995.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis perbandingan umur layan pada setiap perubahan parameter desain perkerasan kaku di apron bandar udara, diketahui perubahan mutu pelat beton yang paling besar rasionya karena memiliki nilai eksponensial yang paling signifikan yaitu $y = 25,165e^{-0.119x}$ dibandingkan dengan parameter CBR *Subgrade* dan *Annual Departure* karena semakin besar nilai eksponensial, maka semakin besar perubahan yang terjadi. Pada penelitian ini perubahan yang terjadi yaitu penurunan umur layan yang disebabkan oleh parameter mutu pelat beton, CBR *Subgrade* dan *Annual Departure*. Karena mutu beton merupakan parameter yang paling berpengaruh dan beton dengan mutu yang tinggi memiliki harga yang mahal, saran yang dapat diberikan untuk umur layan perkerasan kaku supaya tetap sesuai dengan desain yaitu dengan mempertebal lapisan permukaan/*surface* atau bisa dengan mempertebal lapisan lain seperti lapisan pondasi dan pondasi bawah.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdualla H., Shreenat R. (2017). *Design and Construction of Bases and Subbases for Concrete Pavement*. Texas: Minerva TRI.
- Aprilia Wulandari, S. H. (2022). *Evaluasi Tebal Perkerasan Kaku Apron Bandara Mutiara SIS Al-Jufri*. Journal of Civil Engineering and Planning.
- Barnas Edi, B. K. (2015). *Penelitian Kekuatan Tanah Metode CBR (California Bearing Ratio) di SPBG Bogor 1 Bubulak*. Fakultas Teknik Universitas Borobudur, Jakarta.

- Direktorat Jendral Perhubungan Udara. (2019). *Standar Teknis Dan Operasional Peraturan Keselamatan Penerbangan Sipil-Bagian 139*. Jakarta: Kementerian Perhubungan.
- Direktorat Jendral Perhubungan Udara. (2021). *Spesifikasi Teknis Pekerjaan Fasilitas Sisi Udara Bandar Udara*. Jakarta: Kementerian Perhubungan.
- Federal Aviation Administration. (2021). *Advisory Circular No.150-5320-6G*. United States: Department of Transportation.
- Horonjeff, R. a. (2010). *Planning and Design of Airports (Fifth Edition)*. United States: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Karma, M. (2021). Sistem Manajemen Pemeliharaan Perkerasan Landasan Di Bandar. *Warta Ardhia*, 46(2), 133-146.
- Yudodiharjo, R. C. (2022). *Sensitivitas Parameter Desain terhadap Umur Layan pada Perkerasan Landasan Pacu Bandar Udara*. RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil.