

Model Penurunan Umur Layan terhadap Perubahan Nilai Parameter Desain Perkerasan Lentur dan Perkerasan Kaku Runway Bandar Udara

**BARKAH WAHYU WIDIANTO^{1*}, RADEN CHRISTOPHORUS AUDIWAHYU¹,
ERLANGGA MAULANA BASUKI¹**

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Itenas Bandung
Email: barkah@itenas.ac.id

ABSTRAK

Dalam desain jenis perkerasan di fasilitas Runway Bandar Udara dibedakan menjadi kaku dan lentur, memiliki karakteristik sistem distribusi tegangan sampai subgrade yang berbeda, terutama pada perubahan nilai parameter desain. Hal ini akan mempengaruhi penurunan umur layan. Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan hubungan penurunan umur layan terhadap perubahan nilai parameter desain yaitu peningkatan annual departure lalu lintas pesawat udara, penurunan nilai CBR subgrade, serta penurunan kondisi modulus PCC pada perkerasan kaku dan setiap layer pada perkerasan lentur. Metode yang digunakan adalah Layered Elastic Theory bersumber pada FAA AC 150/5320-6G dengan software FAARFIELD V 2.0.18. Pada perkerasan lentur, penurunan CBR Subgrade memiliki nilai perubahan umur layan yang paling besar di antara penurunan modulus dan kenaikan annual departure yaitu $y = 19,395 e-0,092x$. Sedangkan pada perkerasan kaku, penurunan modulus memiliki nilai perubahan umur layan yang paling besar di antara penurunan CBR subgrade dan kenaikan annual departure yaitu $y = 21,445 e-0,132x$. Berdasarkan perbandingan model umur layan tersebut, maka perubahan parameter CBR subgrade paling berpengaruh pada perkerasan lentur, sedangkan perubahan parameter modulus PCC pada perkerasan kaku.

Kata kunci: umur layan, CBR subgrade, annual departure, mutu material

ABSTRACT

In the design of the type of pavement at the airport runway facility, it is distinguished into rigid and flexible, having different characteristics of the stress distribution system to subgrade, especially in changes in design parameter values. This will affect the decrease in service life. This study aims to model the relationship between reduced service life and changes in design parameter values, such as increase in annual departure of aircraft traffic, a decrease in the CBR subgrade value, and a decrease in PCC modulus conditions on rigid pavements and each layer on flexible pavements. The method used is Layered Elastic Theory based on FAA AC 150/5320-6G with FAARFIELD V 2.0.18 software. On flexible pavement, the decrease in CBR Subgrade has the largest change in service life between the decrease in modulus and the increase in annual departure, namely $y = 19.395 e-0.092x$. Whereas on rigid pavements, the decrease in modulus has the greatest change in service life between the reduction in CBR subgrade and an increase in annual departure, namely $y = 21.445 e-0.132x$. Based on the comparison of the service life models, the changes in CBR subgrade parameters have the most effect on flexible pavements, while changes in the PCC modulus parameters on rigid pavements.

Keywords: Numerical Integration, Dredging Volume

1. PENDAHULUAN

Penurunan umur layan pada perkerasan Bandar Udara dipengaruhi beberapa parameter desain yang meliputi nilai CBR *subgrade*, jumlah *annual departure*, dan modulus setiap lapisan. Banyak konstruksi perkerasan umumnya tidak didesain untuk melayani lalu lintas pesawat yang beroperasi saat ini yang memiliki lalu lintas lebih besar dari perkiraan desain sebelumnya [1]. Nilai CBR *subgrade* juga dipengaruhi oleh beberapa hal, meliputi jenis tanah, tingkat kepadatan, kadar air, dan kondisi drainase. Drainase yang tidak berfungsi dengan baik akan menyebabkan masuknya air hujan ke dalam lapisan *subgrade*. Saat dalam keadaan tergenangi oleh air tentu mempengaruhi kepada penurunan nilai CBR *subgrade* yang berarti menurunkan dayadukung tanah tersebut [2]. Salah satu material yang mempengaruhi modulus lapisan perkerasan adalah bahan pengikat agregat yaitu aspal dan semen. Saat kualitas material tidak sesuai dengan spesifikasi, maka akan berdampak pada pelepasan butiran agregat dan menurunnya nilai modulus pada lapis permukaan [3]. Pada Perkerasan kaku memiliki struktur yang berbeda dengan perkerasan lentur dalam memikul beban yang direncanakan, sehingga bisa saja parameter yang mempengaruhi penurunan umur layan berbeda dari perkerasan lentur. Berdasarkan latar belakang di atas, maka dengan parameter seperti CBR *subgrade*, *annual departure*, dan mutu material dapat dilakukan analisis pada perkerasan kaku, maka penelitian ini akan memodelkan hubungan penurunan umur layan terhadap perubahan nilai parameter desain yaitu dengan meningkatkan *annual departure* lalu lintas pesawat udara, penurunan nilai CBR *subgrade*, serta penurunan kondisi modulus PCC pada perkerasan kaku dan modulus setiap *layer* pada perkerasan lentur.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perkerasan Runway

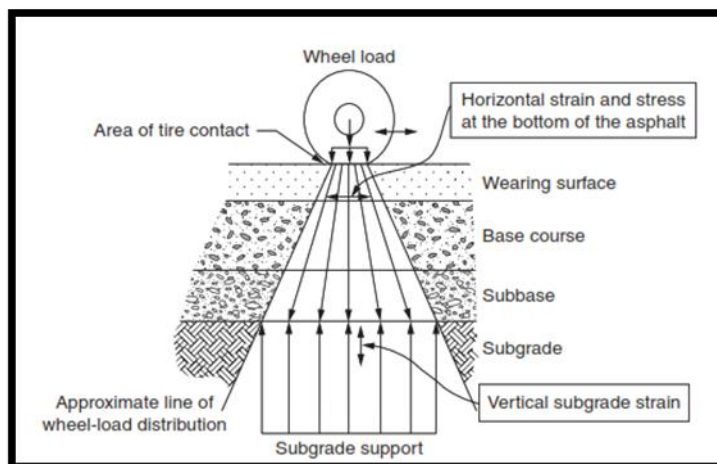
Runway merupakan bagian dari *air side* pada bandar udara yang berbentuk persegi panjang dengan fungsi sebagai jalur pendaratan dan lepas landas pesawat udara. Dalam memfasilitasi khusus pergerakan pesawat dalam transportasi udara yang perlu diperhatikan adalah desain fasilitas sisi udara [4]. *Runway* didesain agar mampu menerima beban lalu lintas pesawat udara tanpa terjadi kerusakan struktural maupun fungsional selama umur layan. Perkerasan landas pacu memiliki peranan yang sangat penting untuk menyebarkan beban pesawat ke tanah dasar. Semakin besar kemampuan tanah dasar untuk memikul beban, maka tebal lapisan perkerasan yang dibutuhkan semakin tipis karena keseluruhan struktur perkerasan didukung sepenuhnya oleh tanah dasar, maka identifikasi dan evaluasi terhadap struktur tanah dasar adalah sangat penting bagi perencanaan tebal perkerasan [5].

2.2 Desain 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. Perhitungan menggunakan *software* FAARFIELD dibuat untuk mengakomodasi dampak susunan sumbu roda pesawat yang rumit [6]. FAA mengeluarkan panduan untuk merancang tebal perkerasan bandar udara yaitu Advisory Circular (AC) no 150/5320-6G menggunakan program *Federal Aviation Administration Rigid and Flexible Iterative Elastic Layered Design (FAARFIELD)* [7].

2.3 *Software* Federal Aviation Administration Rigid and Flexible Iterative Elastic Layered Design (FAARFIELD V 2.0.7)

FAARFIELD V 2.0.7 merupakan software yang dikembangkan oleh FAA, berfungsi untuk merancang tebal perkerasan lentur dan kaku dengan umur layan 20 tahun. *Software* FAARFIELD V 2.0.7 didasarkan pada analisis struktur berbasis *layered elastic theory* dan *three-dimensional finite element* untuk merancang lapisan perkerasan baru maupun lapisan tambah pada perkerasan lentur dan kaku. Layered elastic theory mempertimbangkan fakta bahwa lapisan perkerasan yang menopang beban dipengaruhi oleh regangan vertikal dan tegangan horizontal [8], seperti yang diilustrasikan pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Ilustrasi *layered elastic theory*

FAARFIELD V 2.0.7 didasarkan pada konsep *cumulative damage factor* (CDF), dimana kontribusi setiap jenis pesawat dalam campuran lalu lintas tertentu dijumlahkan untuk mendapatkan total kerusakan kumulatif dari semua operasi pesawat dalam campuran lalu lintas. Konsep pesawat rencana tidak digunakan pada program ini, tetapi dengan metode CDF kontribusi pesawat terhadap kerusakan perkerasan dapat diidentifikasi dan dapat diketahui pesawat dengan kontribusi paling besar. Rancangan ketebalan dengan FAARFIELD V 2.0.7 menggunakan seluruh campuran lalu lintas pesawat karena rancangan dengan menggunakan pesawat rencana akan berdampak kepada tebal lapis perkerasan yang berlebih.

2.4 Faktor Penurunan Umur Layan

Selama bandar udara beroperasi ada beberapa faktor yang memengaruhi umur layan sehingga perkerasan tidak dapat melayani sesuai rencana umur layan meliputi nilai CBR *subgrade*, jumlah *annual departure*, dan modulus setiap lapisan perkerasan.

Annual departure merupakan salah satu data yang diperlukan dalam melakukan perancangan tebal perkerasan bandar udara yaitu jumlah keberangkatan pesawat udara setiap tahunnya. Kerusakan akibat beban trafik pesawat yang melebihi rencana dapat mengurangi umur kekuatan landasan dari saat pertimbangan desain.

CBR *subgrade* merupakan nilai yang merepresentasikan kekuatan daya dukung pada lapisan tanah dasar dan dipakai pada proses perancangan tebal lapis perkerasan bandar udara. Nilai CBR *subgrade* dapat diperoleh melalui CBR Test dan *Plate Bearing Test*. Parameter yang dihasilkan dari pengujian Plat Lapangan adalah nilai CBR setempat dan nilai daya dukung tanah [9]. Semakin besar nilai CBR *subgrade* maka semakin kuat daya dukung tanah dasar. Nilai CBR *subgrade* mempengaruhi tebal perkerasan karena semakin besar nilai CBR *subgrade* maka semakin tipis lapis perkerasan yang dibutuhkan. Hal ini disebabkan karena keseluruhan struktur perkerasan didukung sepenuhnya oleh tanah dasar, maka identifikasi

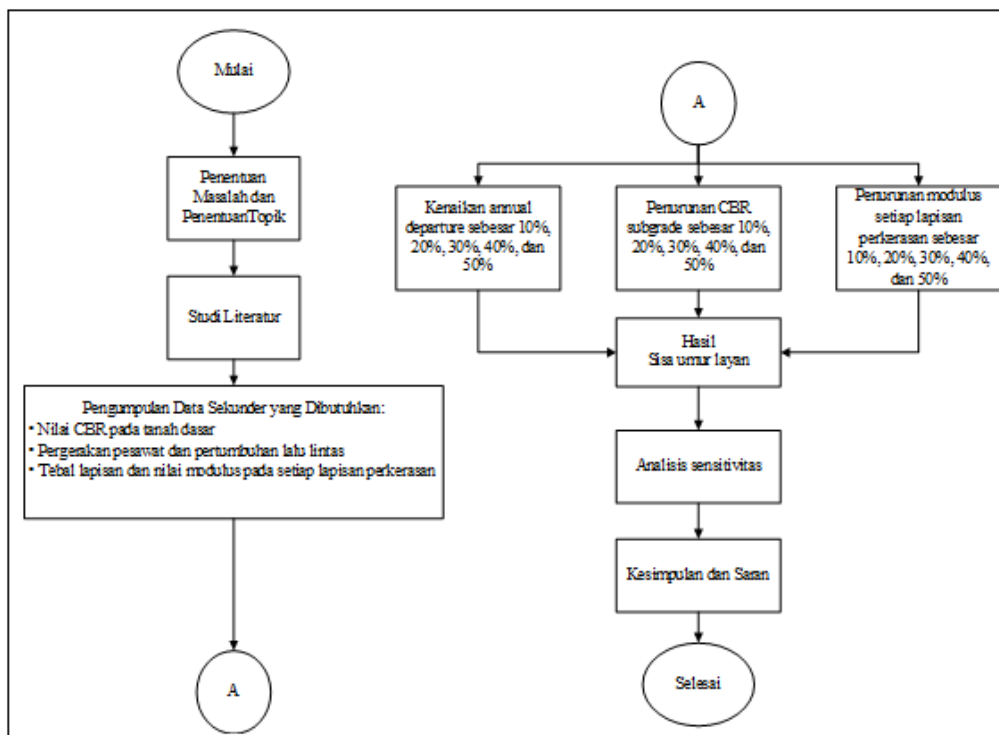
dan evaluasi terhadap struktur tanah dasar adalah sangat penting bagi perencanaan tebal perkerasan [10].

Modulus elastisitas didefinisikan sebagai perbandingan antara tegangan dengan regangan suatu bahan selama gaya yang bekerja tidak melampaui batas elastisitasnya [11]. Setiap lapisan pada perkerasan lentur memiliki nilai modulusnya tersendiri. Nilai ini dipengaruhi oleh tebal lapisan, kualitas material, dan kesesuaian pada pengerjaannya. Besarnya nilai modulus menyatakan daya tahan perkerasan terhadap deformasi. Semakin tebal lapis perkerasan, maka semakin besar nilai modulusnya karena dibutuhkan perkerasan yang mampu menahan beban lalu lintas pesawat udara.

3. METODOLOGI

3.1 Rencana Kerja

Rencana kerja yang akan dilakukan pada penelitian sensitivitas parameter desain terhadap sisa umur layan dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Bagan alir rencana kerja

3.2 Pengumpulan Data

Pada penelitian ini, digunakan data Bandar udara Mutiara SIS Al-Jufri yang diperoleh dari penelitian Utomo (2021). Data yang diperoleh meliputi data teknis dan data perancangan perkerasan lentur Runway untuk mengevaluasi sensitivitas parameter desain perkerasan seperti nilai CBR subgrade, jumlah annual departure, dan nilai modulus terhadap sisa umur layan perkerasan lentur landas pacu bandar udara. Digunakan nilai CBR subgrade sebesar 6% sebagai nilai CBR rencana yang selanjutnya menjadi nilai CBR eksisting.

Digunakan annual departure setiap pesawat yang berlalu lintas pada bandar udara tersebut dari tahun 2018 hingga 2020 karena di tahun-tahun sebelumnya terdapat beberapa pesawat

yang sudah tidak beroperasi dengan pertumbuhan volume lalu lintas sebesar 6,789%. Data tersebut dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Data Jumlah *Annual Departure* Tahunan Bandara

No	Jenis Pesawat	Keterangan	Tahun		
		MTOW [kg]	2018	2019	2020
1	A320-200	78,000	903	690	690
2	ATR-72 (D50)	22,800	2.284	2.454	2.454
3	B737-500	60,781	132	132	132
4	B737-800	79,243	1.685	1.826	1.826
5	B737-900 ER	85,366	857	765	765
6	CESSNA 208B	3,629	178	84	84

Pada penelitian ini menggunakan jenis *Hot Mix Asphalt Concrete* Pen 60/70 sebagai bahan pengikat agregat pada lapisan permukaan dan lapisan *Asphalt Treated Base* (ATB). Nilai modulus Asphalt Concrete Pen 60/70 diambil sebesar 1.378,95 MPa dengan temperatur 32°C berdasarkan standar FAA. Jenis, tebal, dan Modulus setiap lapisan perkerasan dapat dilihat pada **Tabel 2** dan **Tabel 3**.

Tabel 2. Jenis, Tebal dan Modulus Lapisan Perkerasan Lentur

No	Jenis Lapisan	Tebal Lapisan [cm]	Modulus [MPa]
1	P-401/P-403 HMA <i>Surface</i> / Laston AC-WC dan AC-BC	12,5	1.378,95
2	P-401/P-403 St (<i>Flex</i>) / ATB (AC-Base 2 lapis)	16	2.757,9
3	P-209 Cr Ag / Agregat Pecah (Lapis Pondasi Atas)	15	309,4
4	P-154 <i>UnCr</i> Ag / Agregat Tidak Pecah (Lapis Pondasi Bawah)	35	1.12,35

Tabel 3. Jenis, Tebal dan Modulus Lapisan Perkerasan Kaku

No	Jenis lapisan	Tebal Lapisan [cm]	Modulus [MPa]
1	P-501 PCC <i>Surface</i> / Beton K-500	36,5	27.579,04
2	P-306 <i>Lean Concrete</i> / LC K-125	15	4.826,33
3	P-209 Cr Ag / Agregat Pecah (Lapis Pondasi Atas)	30	357,95
4	P-154 <i>UnCr</i> Ag / Agregat Tidak Pecah (Lapis Pondasi Bawah)	30	109,39

3.2 Langkah Kerja Pemodelan Perubahan Parameter Desain Perkerasan menggunakan *Software* FAARFIELD V 2.0.7

Pemodelan perubahan parameter desain pada perkerasan lentur Runway dilakukan dengan menggunakan *software* FAARFIELD V 2.0.7. Pemodelan diawali dengan mencari umur layan eksisting dari perkerasan yang sudah ada lalu dilakukan pemodelan perubahan parameter desain sesuai dengan **Tabel 4**.

Tabel 4. Perubahan Parameter Desain

No Perubahan	Perubahan Parameter Desain		
	Peningkatan [%]		Penurunan [%]
	<i>Annual departure</i>	CBR <i>subgrade</i>	Modulus
1	10		
2	20		
3	30		
4	40		
5	50		
6		10	
7		20	
8	Kondisi eksisting	30	
9		40	
10		50	

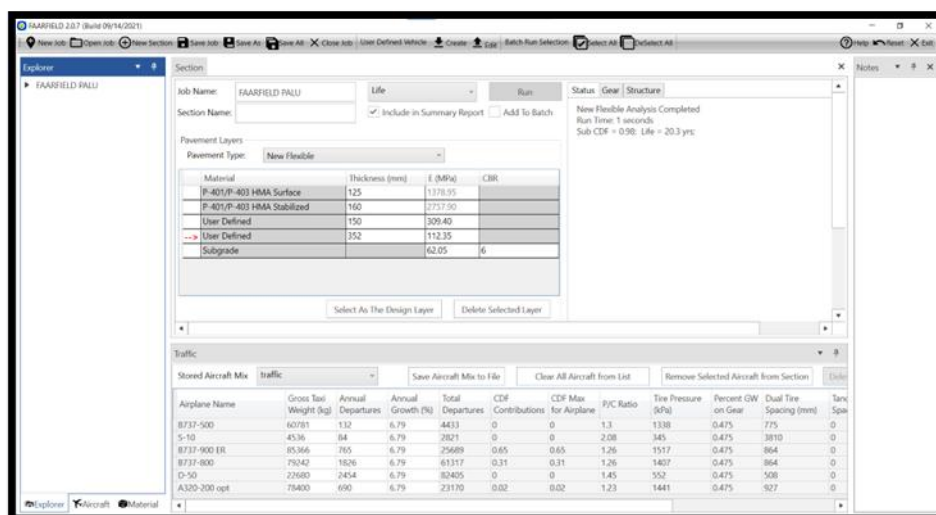
Tabel 4. Perubahan Parameter Desain lanjutan

No Perubahan	Perubahan Parameter Desain		
	Peningkatan [%]	Penurunan [%]	
	<i>Annual departure</i>	<i>CBR subgrade</i>	Modulus
11			10
12			20
13		Kondisi eksisting	30
14			40
15			50

3. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Pemodelan Sisa Umur Layan Dengan Perubahan Parameter Desain

Pada pemodelan perkerasan eksisting didapatkan hasil umur layan sebesar 20,3 tahun sebagai umur layan eksisting perkerasan. **Gambar 3** menunjukkan hasil *running software* FAARFIELD V 2.0.7.



Gambar 3. Hasil umur layan perkerasan lentur

Selanjutnya, dilakukan pemodelan perubahan parameter desain meliputi kenaikan *annual departure*, penurunan *CBR subgrade* dan penurunan modulus setiap lapisan menggunakan *software* FAARFIELD V 2.0.7 untuk mengetahui sensitivitas parameter desain terhadap umur layan perkerasan. Perubahan parameter desain ditunjukkan pada **Tabel 5**, **Tabel 6**, **Tabel 7**, dan **Tabel 8**.

Tabel 5. Kenaikan *Annual Departure*

No	Persen Kenaikan [%]	Jumlah <i>Annual Departure</i> Setiap Tahun					
		Jenis Pesawat					
		A320-200	ATR-72 (D50)	B737-800	B737-900 ER	CESSNA 208B	B737-500
1	0	690,0	2.454,0	1.826,0	765,0	84,0	132,0
2	10	759,0	2.700,0	2.009,0	842,0	93,0	146,0
3	20	828,0	2.945,0	2.192,0	918,0	101,0	159,0
4	30	897,0	3.191,0	2.374,0	996,0	110,0	172,0
5	40	966,0	3.436,0	2.557,0	1.071,0	118,0	185,0
6	50	1.035,0	3.681,0	2.739,0	1.148,0	126,0	198,0

Tabel 5 merupakan asumsi peningkatan *annual departure* setiap pesawat yang akan digunakan sebagai data pemodelan untuk menghasilkan sisa umur layan dengan menggunakan *software* FAARFIELD V 2.0.7. Sebagai contoh, pada Pesawat Boeing dengan kode B737-800 mengalami peningkatan *annual departure* sebesar 50% dari 1.826 pergerakan menjadi 2.739 pergerakan.

Tabel 6. Penurunan CBR Subgrade

No	Persen 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 6 merupakan asumsi penurunan nilai CBR *subgrade* yang akan digunakan sebagai data pemodelan untuk menghasilkan sisa umur layan dengan menggunakan *software* FAARFIELD V 2.0.7. Sebagai contoh, nilai CBR *subgrade* mengalami penurunan sebesar 50% dari 6% menjadi 3%.

Tabel 7. Penurunan Modulus Setiap Lapisan Perkerasan Lentur

No	Persen Penurunan [%]	Jenis Lapisan			
		P-401/P-403 HMA Surface [MPa]	P-401/P-403 St (flex) [MPa]	P-209 Cr Ag [MPa]	P-154 Un Cr Ag [MPa]
1	0	1.378,950	2.757,90	309,40	112,350
2	10	1.241,055	2.482,11	278,46	101,115
3	20	1.103,160	2.206,32	247,52	89,880
4	30	965,265	1.930,53	216,58	78,645
5	40	827,370	1.654,74	185,64	67,410
6	50	689,475	1.378,95	154,70	56,175

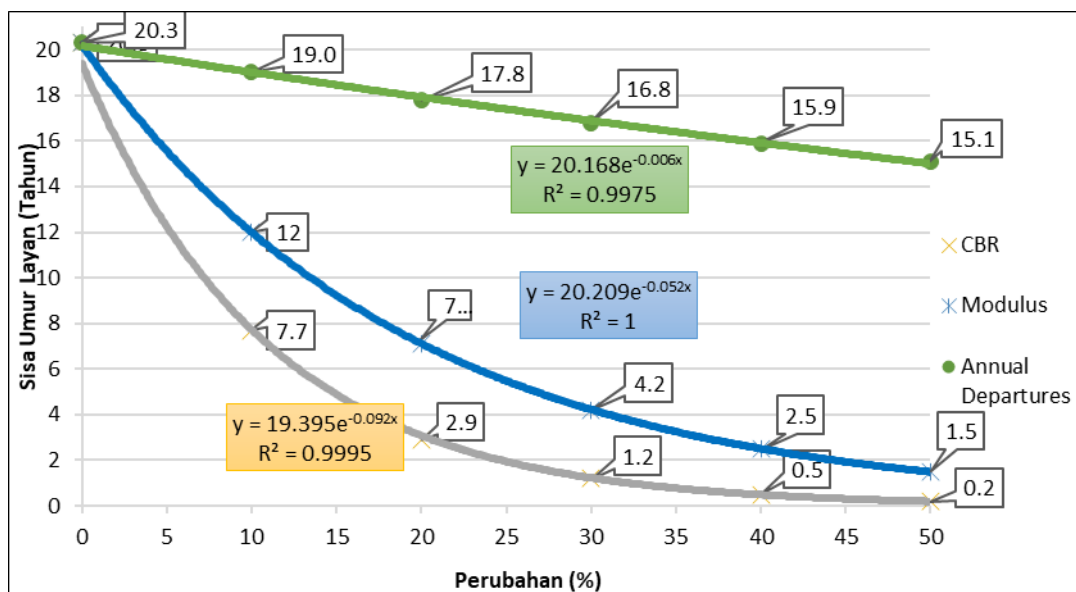
Tabel 7 merupakan asumsi penurunan nilai modulus setiap lapisan perkerasan lentur yang akan digunakan sebagai data pemodelan untuk menghasilkan sisa umur layan dengan menggunakan *software* FAARFIELD V 2.0.7. Sebagai contoh, dilakukan penurunan pada lapisan permukaan dengan kode P-401/P-403 HMA *surface* sebesar 50% dari 1378,95 MPa menjadi 689,475 Mpa. Selanjutnya Pemodelan penurunan dilakukan sesuai Tabel 3.1 dengan menggunakan *software* FAARFIELD V 2.0.7. Sedangkan asumsi penurunan nilai modulus PCC pada perkerasan kaku ditunjukkan pada **Tabel 8**.

Tabel 8. Penurunan Mutu Beton perkerasan kaku

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

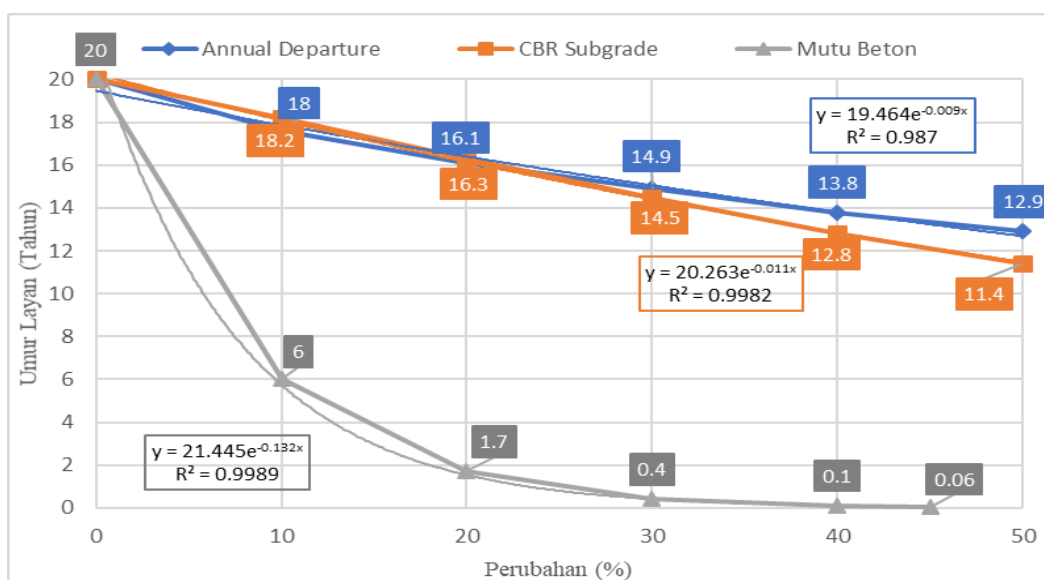
4.2. Analisis Perbandingan Perubahan Parameter Desain

Dihasilkan grafik antara persen perubahan parameter desain dan sisa umur layan yang ditunjukkan pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Grafik pengaruh perubahan parameter desain terhadap sisa umur layan pada perkerasan lentur

Pada **Gambar 4**, terlihat bahwa garis sisa umur layan akibat perubahan CBR *subgrade* pada grafik berada di bawah garis sisa umur layan akibat perubahan modulus setiap lapisan dan *annual departure*. Hal ini menyatakan bahwa penurunan umur layan lebih dipengaruhi oleh perubahan nilai CBR *subgrade* dibandingkan dengan perubahan modulus setiap lapisan dan *annual departure*. Sebagai contoh, saat dilakukan penurunan sebesar 50 % pada setiap parameter desain, nilai CBR *subgrade* menghasilkan sisa umur layan terendah yaitu sebesar 0,2 tahun dibandingkan dengan parameter desain modulus yang menghasilkan sisa umur layan sebesar 1,5 tahun dan parameter desain *annual departure* yang menghasilkan sisa umur layan sebesar 15,1 tahun.



Gambar 5. Grafik pengaruh perubahan parameter desain terhadap sisa umur layan pada perkerasan kaku

Pada **Gambar 5**, diketahui garis umur layan akibat perubahan mutu pelat beton 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 9 Penurunan Umur Layan Akibat Perubahan Parameter Desain pada Perkerasan Kaku

No	Perubahan Kondisi [%]	Sisa Umur Layan [tahun]			Penurunan Umur Layan [tahun]		
		Kenaikan <i>Annual departure</i>	Penurunan Modulus	Penurunan CBR <i>subgrade</i>	Kenaikan <i>Annual departure</i>	Penurunan Modulus	Penurunan CBR <i>subgrade</i>
1	10	19,0	12,0	7,7	1,3	8,3	12,6
2	20	17,8	7,1	2,9	2,5	13,2	17,4
3	30	16,8	4,2	1,2	3,5	16,1	19,1
4	40	15,9	2,5	0,5	4,4	17,8	19,8
5	50	15,1	1,5	0,2	5,2	18,8	20,1

Tabel 9 menunjukkan menunjukkan penurunan umur layan akibat perubahan parameter desain dari kondisi eksisting yaitu 20,3 tahun. Penurunan umur layan akibat penurunan kondisi CBR *subgrade* lebih besar pada setiap perubahan kondisi dibandingkan dengan parameter lainnya. Sebagai contoh, terjadi penurunan sebesar 20,1 tahun dari umur layan eksisting yaitu 20,3 tahun akibat penurunan nilai CBR *subgrade* sebesar 50%. Nilai tersebut lebih besar dibandingkan dengan penurunan umur layan akibat penurunan modulus yaitu 18,8 tahun dan penurunan umur layan akibat *annual departure* yaitu 4,4 tahun pada persentase perubahan kondisi yang sama yaitu 50%.

Tabel 10. Penurunan Umur Layan Akibat Perubahan Parameter Desain pada Perkerasan Lentur

No	Perubahan Kondisi [%]	Sisa Umur Layan [tahun]			Penurunan Umur Layan [tahun]		
		Kenaikan <i>Annual departure</i>	Penurunan Modulus	Penurunan CBR <i>subgrade</i>	Kenaikan <i>Annual departure</i>	Kenaikan <i>Annual departure</i>	Penurunan Modulus
1	10	18,2	17,6	6	1,8	2,4	14
2	20	16,3	16,1	1,7	3,7	3,9	18,3
3	30	14,5	14,9	0,4	5,5	5,1	19,6
4	40	12,8	13,8	0,1	7,2	6,2	19,9
5	45	11,4	12,9	0,06	8,6	7,1	19,94

Tabel 10 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 14 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 1,8 tahun dan penurunan umur layan akibat *annual departure* yaitu 2,4 tahun pada perubahan sebesar 10%.

Tabel 11. Model Perbandingan Penurunan Umur Layan

Jenis Perkerasan	Kenaikan <i>Annual Departure</i>	Penurunan Modulus	Penurunan CBR <i>subgrade</i>
Perkerasan Lentur	$y = 20,168e^{-0,006x}$	$y = 20,209e^{-0,052x}$	$y = 19,395e^{-0,092x}$
Perkerasan Kaku	$y = 19,464e^{-0,009x}$	$y = 21,445e^{-0,132x}$	$y = 20,263e^{-0,011x}$

Tabel 11 merupakan model perbandingan penurunan umur layan terhadap umur rencana pada setiap persentase perubahan kondisi pada perkerasan lentur dan kaku, dapat dilihat bahwa pada perkerasan lentur penurunan CBR Subgrade memiliki nilai perubahan umur layan (nilai eksponensial) yang paling besar diantara penurunan Modulus dan kenaikan annual departure yaitu $y = 19,395e^{-0,092x}$. Sedangkan pada perkerasan kaku, penurunan nilai Modulus PCC memiliki nilai perubahan umur layan (nilai eksponensial) yang paling besar diantara penurunan CBR Subgrade dan kenaikan annual departure yaitu $y = 21,445e^{-0,132x}$.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis parameter desain terhadap sisa umur layan pada perkerasan lentur dan kaku Perkerasan yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan yaitu:

1. Berdasarkan umur layan dari hasil desain tebal perkerasan lentur, Model perubahan umur layan oleh kenaikan annual departure $y = 20,168 e^{-0,006x}$ dengan kenaikan paling besar 50% dengan umur layan tersisa 15,1 tahun. Model perubahan umur layan oleh CBR Subgrade $y = 19,395 e^{-0,092x}$ dengan penurunan paling besar terdapat pada penurunan 50% dengan umur layan tersisa 0,2 tahun. Perubahan umur layan oleh penurunan modulus $y = 20,209 e^{-0,052x}$ dengan penurunan paling besar terdapat pada penurunan 50% dengan umur layan tersisa 1,5 tahun.
2. Berdasarkan umur layan dari hasil desain tebal perkerasan kaku, Perubahan umur layan oleh kenaikan annual departure $y = 19,464 e^{-0,009x}$ dengan kenaikan paling besar 50% dengan umur layan tersisa 11,4 tahun. Perubahan umur layan oleh CBR Subgrade $y = 20,263 e^{-0,011x}$ dengan penurunan paling besar terdapat pada penurunan 50% dengan umur layan tersisa 12,9 tahun. Perubahan umur layan oleh mutu beton $y = 21,445 e^{-0,132x}$ dengan penurunan paling besar terdapat pada penurunan 45% dengan umur layan tersisa 0,06 tahun.
3. Berdasarkan perbandingan model umur layan tersebut dapat disimpulkan bahwa dilihat bahwa perubahan parameter CBR Subgrade paling berpengaruh pada perkerasan lentur, sedangkan perubahan parameter Modulus PCC pada perkerasan kaku.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk pengembangan studi lebih lanjut meliputi:

1. Dapat dilakukan perbandingan umur layan terhadap parameter penurunan nilai modulus elastisitas untuk lapisan stabilisasi dan lapisan pondasi pada perkerasan kaku.
2. Dapat dilakukan perbandingan umur layan terhadap parameter desain lain pada perkerasan yang di overlay dengan jenis perkerasan komposit

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Karma, M. (2021). Sistem Manajemen Pemeliharaan Perkerasan Landasan Di Bandar Udara. *Warta Ardhia*, 46(2), 133-146.
- [2] Akbar, S. J. (2016). Ratio Nilai *Soaked* Dan *Unsoaked* Cbr *Subgrade* Terhadap Tebal Perkerasan Runway Bandara Malikussaleh Lhokseumawe. *Teras Jurnal-Jurnal Teknik Sipil*, 2(4).
- [3] Baskara, G. M. B. (2019). Analisis Modulus Kekakuan Campuran Aspal Beton Dengan Penggunaan Agregat Buatan Berbahan Geopolimer (*Doctoral dissertation*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).

- [4] Ramadhan, D. (2018). Analisis Struktur Perkerasan Lentur Landas Pacu Menggunakan Program Bantu COMFAA, FAARFIELD dan LEDFAA (Studi Kasus Bandar Udara Internasional Juanda Surabaya) (*Doctoral dissertation*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- [5] Heru, B. (1986). Merancang Dan Merencanakan Lapangan Terbang.
- [6] Anis, M. (2016). Analisis Perbandingan Metode Empiris dan Metode Mekanistik Dalam Perancangan Landasan Bandar Udara: Studi Kasus Bandar Udara Kertajati–Majalengka. *Warta Penelitian Perhubungan*, 28(6), 413-428.
- [7] *Federal Aviation Administration* (2021). Advisory Circular No.150-5320-6G. *Airport Pavement Design and Evaluation*. Department of Transportation. United States
- [8] Horonjeff, R., & McKelvey, F. X. (1993). Perencanaan dan Perancangan Bandar Udara.
- [9] Pratomo, L. J., & Schipper, L. A. (2020). Analisa Daya Dukung Tanah Dasar Dan Perkerasan Runway Dengan Adanya Peningkatan Kapasitas Pelayanan Pesawat (Studi Kasus Bandar Udara Tanjung Warukin Kalimantan Selatan). *Jurnal Teknik Sipil Cendekia (JTSC)*, 1(1), 27-44.
- [10] Rezki, C. N. L. (2016). Analisis Perbandingan Metode Desain Perkerasan Bandara Antara Metode Grafis dan FAARFIELD Studi Kasus Bandara Juanda (*Doctoral dissertation*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- [11] Muliasari, A., & Lukiana, L. (2013). Penentuan Tebal Perkerasan Lentur Berdasarkan Nilai CBR (*California Bearing Ratio*) dan ESWL (*Equivalent Single Wheel Load*) Pesawat Rencana Pada Perencanaan Pembangunan Bandar Udara Baru di Karawang. *Warta Ardhia*, 39(3), 181-191.