

## EVALUASI TEBAL PERKERASAN PADA RUNWAY BANDARA SYUKURAN AMINUDDIN AMIR LUWUK BERDASARKAN CUMULATIVE DAMAGE FAILURE

Diah Hariyami<sup>1\*</sup>, Arief Setiawan<sup>2</sup>, Syamsul Arifin<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tompotika Luwuk Banggai, Sulawesi Tengah, Indonesia

<sup>2</sup>Universitas Tadulako, Sulawesi Tengah, Indonesia

<sup>3</sup>Universitas Tadulako, Sulawesi Tengah, Indonesia

\*Email korespondensi : [diahhariyamiamik68@gmail.com](mailto:diahhariyamiamik68@gmail.com)

### ABSTRACT

Air transportation is a mode of transportation that is still quite in demand, although recently there has been a decline in passengers. Syukur Aminuddin Amir Luwuk Airport belongs to the category of Class II Domestic Airport with airside facilities, namely a Runway with a size of 2,250 m x 45 m, a Taxiway 60 m x 18 m, and an Apron with a size of 315 x 15 m. The need for the operation of several types of aircraft with a larger capacity occurs due to the increase in the number of passengers every year. An increase in the number of passengers will certainly have an impact on the number of aircraft movements, it is necessary to analyze how to determine the thickness of the runway pavement which is influenced by the type of aircraft that will operate based on the subgrade conditions that are there using the FAARFIELD method. The results of the evaluation on the thickness of the runway pavement which has a CBR value of 15%, with a pavement thickness of 215 mm for HMA Surface, 152 mm for Crushed Aggregate, and 200 mm for Uncrushed Aggregate with a service life of 20 years in 2040 it was found that the Subgrade CDF value was 0.00 and the HMA CDF of 0.86. The test results with FAARFIELD software change the pavement thickness for the base layer to 152 mm (minimum value) from the value of 100 mm. So design the thickness of the pavement requires an additional layer of 52 mm.

**Key words** : *runway, flexible, pavement thickness, FAARFIELD, CDF*

### Abstrak

Angkutan udara merupakan moda transportasi yang masih cukup diminati, meski akhir-akhir ini terjadi penurunan penumpang. Bandara Syukur Aminuddin Amir Luwuk termasuk dalam kategori Bandara Domestik Kelas II dengan fasilitas sisi udara yaitu Runway dengan ukuran 2.250 m x 45 m, Taxiway 60 m x 18 m, dan Apron dengan ukuran 315 x 15 m. Kebutuhan pengoperasian beberapa jenis pesawat dengan kapasitas yang lebih besar terjadi karena peningkatan jumlah penumpang setiap tahunnya. Peningkatan jumlah penumpang tentunya akan berdampak pada jumlah pergerakan pesawat, maka perlu dilakukan analisis bagaimana menentukan ketebalan perkerasan runway yang dipengaruhi oleh jenis pesawat yang akan beroperasi berdasarkan kondisi subgrade yang apakah ada yang menggunakan metode FAARFIELD. Hasil evaluasi tebal perkerasan runway yang memiliki nilai CBR 15%, dengan tebal perkerasan HMA Surface 215 mm, Crushed Aggregate 152 mm, dan Uncrushed Aggregate 200 mm dengan umur layan 20 tahun 2040 didapatkan nilai Subgrade CDF sebesar 0,00 dan HMA CDF sebesar 0,86. Hasil pengujian dengan software FAARFIELD mengubah tebal perkerasan untuk lapisan dasar menjadi 152 mm (nilai minimum) dari nilai 100 mm. Sehingga perencanaan ketebalan perkerasan membutuhkan lapisan tambahan sebesar 52 mm.

**Kata kunci** : *runway, lentur, tebal perkerasan, FAARFIELD, CDF*

## PENDAHULUAN

Aminuddin Amir terletak di desa Bubung dengan ketinggian 17,07 m diatas permukaan laut. Bandar Udara Syukuran Aminuddin Amir Luwuk termasuk kategori Bandara Domestik kelas II dengan fasilitas sisi udara yaitu Runway dengan ukuran 2.250 m x 45 m, Taxiway 60 m x 18 m dan Apron dengan ukuran 315 x 15 m. Fasilitas sisi udara merupakan faktor penting dalam suatu bandara, karena disinilah sebenarnya pergerakan aktual yang terjadi. Sisi udara suatu bandara terdiri dari landasan pacu adalah jalur perkerasan yang dipergunakan oleh pesawat untuk mendarat (*landing*) dan lepas landas (*take off*), landasan hubung (*Taxiway*) dan landasan parkir (*Apron*). Bandar Udara Syukuran Aminuddin Amir akan melakukan penambahan panjang runway menjadi 2.500 meter pada tahun 2030, berdasarkan informasi yang di dapatkan dari pihak Bandara Luwuk Bagian Perencanaan, sehingga pesawat dengan kebutuhan landas pacu yang lebih besar dapat mendarat di Bandar Udara Luwuk. Selain itu, Bandar Udara ini merupakan salah satu Bandara yang sangat penting, karena sebagai salah satu transportasi untuk pekerja di perusahaan swasta di luwuk untuk berangkat ke Ibu Kota Jakarta melalui maskapai Batik Air. Rute langsung penerbangan langsung Jakarta – Luwuk dengan satu kali penerbangan bolak-balik atau PP. Penerbangan menuju Luwuk dioperasikan dengan armada terbaru Airbus 320-200. Sedangkan untuk Penerbangan rute Makassar - Luwuk dilayani dengan maskapai Sriwijaya Air.

Kemampuan mendukung beban berulang dari lalu lintas pesawat tanpa mengalami deformasi yang besar, perhitungan struktur perkerasan yang digunakan pada Bandar Udara Syukuran Aminuddin Amir Luwuk menggunakan metode CBR (*California Bearing Ratio*) yaitu standar yang dikeluarkan oleh ICAO (*International Civil Aviation Organization*).

Menentukan tebal struktur perkerasan terdiri dari beberapa metode, salah satu metode perencanaan perkerasan runway adalah metode FAA. FAA atau *Federal Aviation Administration* merupakan lembaga regulator penerbangan sipil di Amerika dengan peraturan bandar udara yang dikeluarkan FAA ini cukup sering digunakan dalam perencanaan bandar udara di Indonesia. Pada perencanaan tebal perkerasan runway menurut FAA, cara menentukan tebal struktur perkerasan awalnya bisa melalui dua cara berdasarkan *Advisory Circular 150-5320-6d* (manual) dan *Advisory Circular 150-5320-6e* (FAARFIELD). Pertama secara manual menggunakan grafik hubungan berat pesawat berdasarkan jenis roda pendaratannya, annual departure serta CBR tanah dan yang kedua dengan menggunakan program FAARFIELD. Untuk peraturan terbaru FAA mengeluarkan peraturan *Advisory Circular 150-5320-6f* dengan ketentuan jika perencanaan tebal perkerasan menggunakan program FAARFIELD.

Kebutuhan akan pengoperasian beberapa tipe pesawat dengan kapasitas yang lebih besar terjadi karena adanya peningkatan jumlah penumpang setiap tahunnya. Peningkatan jumlah penumpang tentu akan berdampak pada jumlah pergerakan pesawat, maka perlu dilakukan analisis bagaimana menentukan tebal perkerasan runway yang dipengaruhi oleh rencana jenis pesawat yang akan beroperasi berdasarkan kondisi tanah dasar yang berada disana menggunakan metode FAARFIELD.

Shafabakhsh et al (2014) menyebutkan bahwa *Cumulative Damage Factor* (CDF) adalah besarnya umur kelelahan struktural suatu perkerasan yang telah habis digunakan. Dengan demikian kondisi struktur perkerasan runway ditentukan oleh sisa umurnya. Dengan menggunakan perkerasan landasan pacu yang ada di bandara sampel, analisis kontribusi CDF akan dilakukan untuk mengevaluasi apakah perkerasan landasan pacu yang ada di bandara sampel masih mampu menahan beban pesawat yang beroperasi di masa depan.

## TINJAUAN PUSTAKA

Bandar Udara atau bandara merupakan sebuah fasilitas tempat pesawat terbang dapat lepas landas dan mendarat. Bandara yang paling sederhana minimal memiliki sebuah landas pacu namun bandara- bandara besar biasanya dilengkapi dengan berbagai fasilitas lain, baik untuk operator layanan penerbangan maupun bagi penggunaannya. Sebuah bandar Udara terdiri atas fasilitas transportasi yang luas dan kompleks, serta dirancang untuk melayani pesawat,

penumpang, cargo dan kendaraan lainnya. Masing-masing pengguna bandara tersebut dilayani berdasarkan komponen yang berbeda di bandara. Komponen bandar udara secara umum terbagi dua kategori, yaitu airside (sisi udara) dan land side (sisi darat).

Komponen airside bandar udara dirancang dan dikelola untuk mengakomodasi pergerakan pesawat di sekitar bandar udara, maupun saat menuju dan kembali dari udara/angkasa. Komponen landside bandar udara dirancang dan dikelola untuk mengakomodasi pergerakan ground based vehicles (kendaraan di darat), penumpang dan cargo. Terminal bandar udara dirancang untuk memfasilitasi pergerakan penumpang dan barang dari landside menuju pesawat di airside. Komponen akses darat bandar udara (airport ground access component) mengakomodasi pergerakan kendaraan di darat dari dan menuju sekitar area perkotaan.

Landas pacu (runway) adalah suatu daerah persegi panjang yang ditentukan pada bandara di daratan atau perairan yang dipergunakan untuk pendaratan dan lepas landas pesawat udara. Semua bandara memiliki landas pacu. Banyak faktor yang memengaruhi penentuan lokasi, orientasi, konfigurasi dan jumlah landas pacu di suatu bandara. Konfigurasi runway berkaitan dengan jumlah dan arah dari satu atau lebih runway di suatu bandara. Beberapa konfigurasi runway telah lazim digunakan di berbagai bandara saat ini, sebagian merupakan kombinasi dari beberapa konfigurasi dasar. Konfigurasi dasar tersebut antara lain sebagai berikut:

a. Single Runway

Konfigurasi ini merupakan yang paling sederhana. Sebagian besar runway di Indonesia merupakan runway tunggal. Sebagian besar referensi menyatakan bahwa kapasitas per jam runway tunggal dalam kondisi VFR (*Visual Flight Rule*) adalah sekitar 50-100 pergerakan pesawat per jam, sedangkan dalam kondisi IFR (*Instrument Flight Rule*) kapasitasnya berkurang menjadi 50-70 pergerakan pesawat per jam, bergantung pada komposisi dari pesawat campuran dan tersedianya alat bantu visual.

b. Parallel Runway

Kapasitas runway sejajar bergantung pada jumlah runway dan jarak antar-runway yang ada. Jumlah yang biasa digunakan adalah dua, tiga dan empat runway sejajar. Jarak antar-runway dibagi menjadi tiga (berdekatan, menengah dan berjauhan) dan bergantung pada garis tengah pemisah antara dua runway. Kapasitas sepasang runway sejajar dalam kondisi VFR bervariasi antara 60-200 pergerakan per jam, sedangkan dalam kondisi IFR kapasitas runway sejajar yang berdekatan berkisar 50-60 pergerakan pesawat per jam, pada tipe runway sejajar yang menengah berkisar 60-75 pergerakan per jam dan untuk tipe runway sejajar yang berjauhan berkisar antara 100-125 pergerakan per jam.

c. Intersection Runway

Runway bersilangan diperlukan jika angin yang bertiup lebih dari satu arah, yang akan menghasilkan embusan/tiupan berlebih bila landasan hanya mengarah ke satu arah. Pada saat angin bertiup kencang ke satu arah maka hanya satu dari dua landasan bersilangan yang dapat digunakan. Jika angin bertiup lemah maka kedua runway dapat digunakan secara bersamaan.

d. Open V Runway

Runway V terbuka merupakan beberapa runway yang ditempatkan dengan arah berbeda, yang satu sama lain tidak saling berpotongan. Strategi yang menghasilkan kapasitas terbesar adalah ketika operasi semakin menjauh dari V dan ini dinamakan pola menyimpang (*diverging pattern*). Pada kondisi VFR, kapasitasnya berkisar antara 60-180 pergerakan pesawat per jam dan pada kondisi IFR, kapasitasnya antara 50-80 pergerakan pesawat per jam.

Dilihat dari segi kapasitas dan pengaturan lalu lintas udara, konfigurasi runway arah tunggal adalah yang paling disukai. Secara umum, masing-masing konfigurasi memiliki kelebihan dan kekurangan tersendiri, tetapi konfigurasi runway tunggal menghasilkan kapasitas terbesar dibandingkan dengan konfigurasi lainnya. Dilihat dari pengaturan lalu

lintas udara, pengarahan rute pesawat (aircraft routing) pada runway dengan satu arah lebih sederhana dibandingkan pada runway dengan banyak arah.

Konfigurasi roda pendaratan (landing gear configuration) berperan penting dalam mendistribusikan berat pesawat ke permukaan yang ditumpangnya, dengan kata lain berperan besar terhadap desain perkerasan bandar udara. Semakin berat pesawatnya, biasanya semakin banyak roda pesawatnya. Berat pesawat yang tersalurkan ke perkerasan ini harus bisa didukung oleh perkerasan runway, taxiway dan apron. Pesawat yang saat ini beroperasi di bandar udara di dunia telah dirancang dengan berbagai konfigurasi roda pendaratan (landing gear). Kebanyakan pesawat dirancang dengan satu dari tiga konfigurasi roda pendaratan dasar (basic landing gear configuration).

Terdapat beberapa definisi dalam konfigurasi roda pesawat, yaitu sebagai berikut :

- a. Single –wheel configuration (konfigurasi roda tunggal), artinya pada roda utama (main gear) pesawat terdapat total dua roda, dengan satu roda di masing- masing penyangga (strut) pesawat.
- b. Dual- wheel configuration (konfigurasi roda ganda), artinya pada roda utama (main gear) pesawat terdapat total empat roda, dengan dua roda di masing – masing penyangga (strut) pesawat.
- c. Dual tandem configuration (konfigurasi roda ganda tandem), artinya terdapat roda sepasang pada di masing – masing penyangga (strut) pesawat.

Perkerasan lentur adalah suatu perkerasan yang mempunyai sifat elastis (Heru Basuki, 1986), maksudnya adalah perkerasan akan melendut saat diberi pembebanan. Keseluruhan struktur perkerasan lentur didukung sepenuhnya oleh tanah dasar lapisan penutup melindungi lapis pondasi atas dari perembesan air permukaan, memberikan permukaan yang rata, terikat baik dan bebas dari butiran-butiran lepas, memikul gaya geser yang disebabkan oleh beban pesawat dan memberikan permukaan yang tidak menimbulkan keausan pada ban yang tidak semestinya. Adapun struktur lapisan perkerasan lentur sebagai berikut :

#### 1. Tanah dasar (Sub Grade)

Tanah dasar pada perencanaan tebal perkerasan akan menentukan kualitas konstruksi perkerasan sehingga sifat-sifat tanah dasar menentukan kekuatan dan keawetan konstruksi landasan pacu. Untuk menentukan daya dukung tanah dasar dengan cara CBR (*California Bearing Ratio*), MR (*Resilient Modulus*), dan K (Modulus Reaksi Tanah Dasar). Di Indonesia daya dukung tanah dasar untuk kebutuhan perencanaan tebal lapisan perkerasan ditentukan dengan menggunakan pemeriksaan CBR. Penentuan daya dukung tanah dasar berdasarkan evaluasi hasil pemeriksaan laboratorium, sifat-sifat daya dukung tanah dasar sepanjang suatu bagian jalan.

#### 2. Lapisan Pondasi Bawah (Sub Base Course)

Lapisan pondasi bawah (Sub Base Course) adalah bagian dari konstruksi perkerasan landasan pacu yang terletak di antara tanah dasar (Sub Grade) dan lapisan pondasi atas (Base Course). Menurut Horonjeff dan McKelvey, (1993) fungsi lapisan pondasi bawah adalah sebagai berikut:

- Bagian dari konstruksi perkerasan yang telah mendukung dan menyebarkan beban roda ke tanah dasar.
- Mencapai efisiensi penggunaan material yang murah agar lapisan-lapisan selebihnya dapat dikurangi tebalnya (penghematan biaya konstruksi).
- Untuk mencegah tanah dasar masuk kedalam lapisan pondasi atas.

#### 3. Lapisan Pondasi Atas (Base Course)

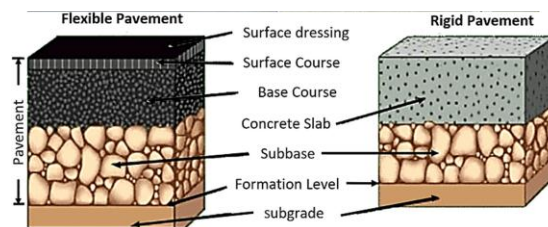
Lapisan pondasi atas adalah bagian dari perkerasan landasan pacu yang terletak diantara lapisan pondasi bawah dan lapisan permukaan. Fungsi pondasi atas adalah sebagai berikut:

- Bagian perkerasan yang menahan gaya lintang dari beban roda dan menyebarkan beban lapisan dibawahnya.
- Lapisan peresapan untuk lapisan pondasi bawah
- Bantalan terhadap lapisan pondasi bawah.

#### 4. Lapisan Permukaan (Surface Course)

Lapisan permukaan adalah lapisan yang terletak paling atas fungsinya adalah sebagai berikut :

- Lapisan perkerasan penahan beban roda, lapisan yang mempunyai stabilitas yang tinggi untuk menahan roda selama masa pelayanan.
- Lapisan kedap air, sehingga air hujan yang jatuh diatasnya tidak meresap kelapisan dibawahnya.
- Lapisan aus, lapisan yang menderita gesekan akibat rem kendaraan sehingga mudah menjadi aus.
- Lapisan yang menyebarkan beban kelapisan bawah, sehingga lapisan bawah yang memikul daya dukung lebih kecil akan menerima beban yang kecil juga. Penggunaan lapisan aspal diperlukan agar lapisan dapat bersifat kedap air, disamping itu bahan aspal sendiri memberikan tegangan tarik, yang berarti mempertinggi daya dukung lapisan terhadap beban terhadap beban roda lalu lintas. Pemilihan bahan untuk lapisan permukaan perlu dipertimbangkan kegunaan, umur rencana serta pentahapan konstruksi agar tercapai manfaat yang sebesar-besarnya dari biaya yang dikeluarkan.



Gambar 1. Perkerasan lentur dan perkerasan kaku

Dalam perencanaan tebal perkerasan yang dikembangkan oleh FAA (Federal Aviation Administration) ini adalah perencanaan untuk masa layan atau umur rencana, dimana selama masa layan tersebut harus tetap dilakukan pemilihan secara berkala. Susunan tebal perkerasan dihitung dengan menggunakan metode FAA, dimana tebal base course ditentukan terlebih dahulu sesuai dengan beban yang bekerja pada landas pacu.

FAARFIELD (Federal Aviation Administration Rigid and Flexible Iterative Elastic Layered Design) yang merupakan suatu program komputer untuk mendesain tebal perkerasan lentur maupun perkerasan kaku pada landas pacu (runway) bandar udara. FAARFIELD juga dapat mendesain tebal overlay perkerasan lentur dan perkerasan kaku.

Perangkat lunak FAARFIELD adalah program komputer untuk perencanaan perkerasan bandar udara yang beroperasi berdasarkan teori lapisan elastis dan metode elemen hingga. Perangkat lunak ini dikembangkan oleh FAA dengan versi 2.0 yang bisa digunakan untuk perencanaan perkerasan kaku dan perkerasan lentur. Metode perencanaan pada program ini didasarkan pada standar desain ketebalan perkerasan. Metode desain ketebalan yang digunakan dalam program ini adalah standar desain FAA AC-150-5320-6G.

Program bantu FAARFIELD adalah respon model struktural yang terdiri dari dua program LEAF dan NIKE3D. LEAF adalah program komputasi elastis multi layer dan NIKE3D adalah program yang beroperasi berdasarkan metode elemen hingga. Kedua program tersebut bisa digunakan saat diperlukan dalam program FAARFIELD, namun tidak terlihat oleh pengguna. Informasi desain dimasukkan ke dalam program oleh dua halaman grafis. Salah satu halaman adalah untuk struktur perkerasan dan yang lainnya adalah untuk lalu lintas.

Prosedur perhitungan dan desain ketebalan dalam program ini berdasarkan metode FAA-AC No:150-5320-6G. Program ini meninjau dan menghitung kebutuhan setiap jenis pesawat, namun program ini terbatas untuk perhitungan lain seperti halnya analisa angin dan geometrik landas pacu (runway).

Prosedur perencanaan perkerasan sudah diimplementasikan di program FAA. FAARFIELD menerapkan prosedur layer elastic dan finite element untuk merencanakan perkerasan baru pada perkerasan lentur.

Analisis kontribusi CDF dilakukan untuk mengevaluasi apakah perkerasan eksisting di bandara sampel masih mampu menahan beban pesawat yang beroperasi di masa depan dengan pertumbuhan pergerakan pesawat per tahun di bandara sampel selama 20 tahun ke depan. Analisis kontribusi CDF menggunakan program FAARFIELD untuk menentukan umur kelelahan landasan pacu. Sehingga bisa memperkirakan sisa umur perkerasan runway.

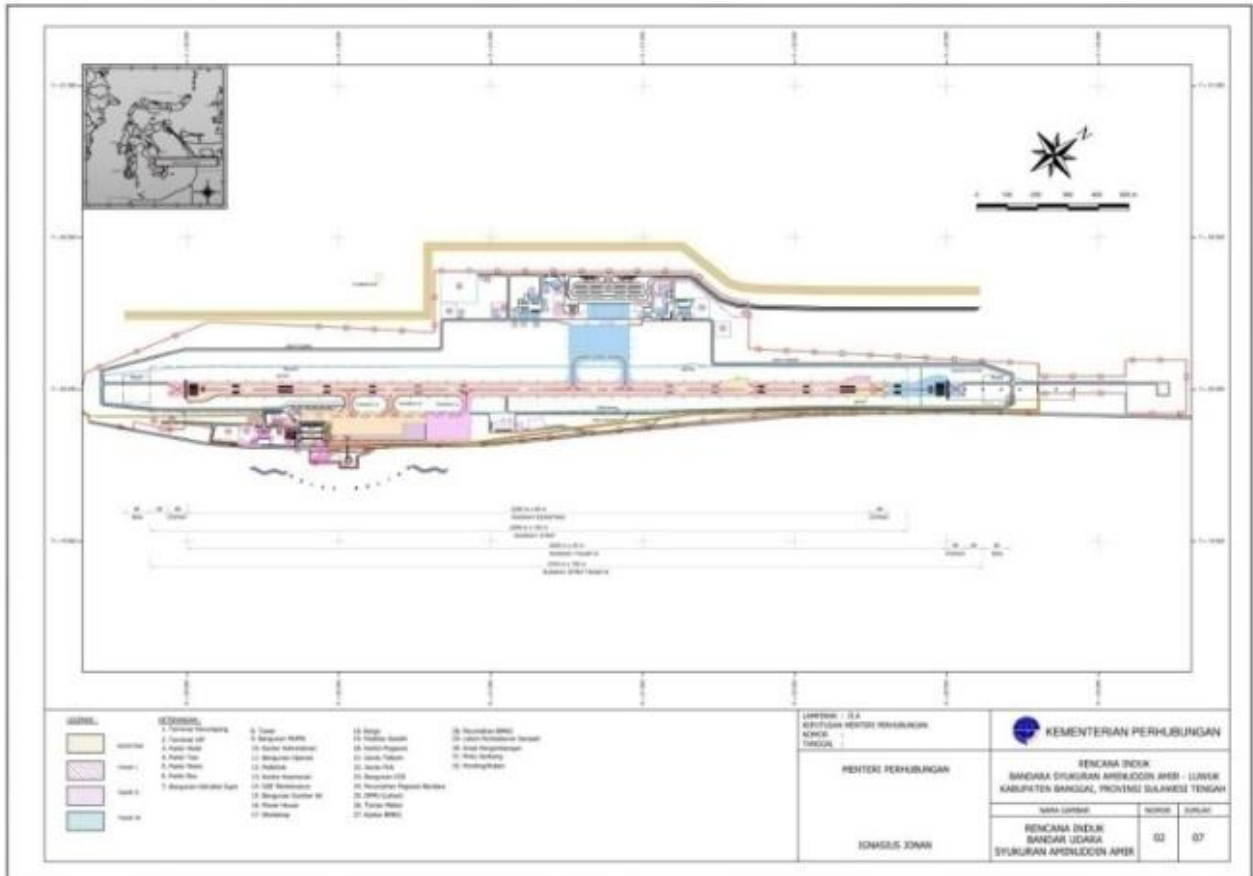
## **METHODS AND ANALYSIS**

### *A. Jenis Penelitian*

Penelitian ini merupakan suatu penelitian deskriptif dan verifikatif yang dilaksanakan melalui pengumpulan data di lapangan, guna mendapatkan data untuk mengetahui hubungan antara variabel dependen dengan variabel independen. Selanjutnya dilakukan pengujian hipotesis, pada penelitian ini digunakan penelitian hubungan sebab akibat, yaitu satuan penelitian yang mencari pengaruh dan hubungan antara satu variabel dengan variabel lainnya. Metode yang dipakai dalam penelitian ini adalah pendekatan kuantitatif yang dilakukan dalam empat tahapan survey, analisis data dan kesimpulan.

### *B. Lokasi Penelitian*

Lokasi penelitian akan dilakukan di Bandara Syukuran Aminuddin Amir Luwuk yang terletak di desa Bubung, Kabupaten Banggai Sulawesi Tengah. Dengan letak koordinat  $01^{\circ}02'20''S$  dan  $122^{\circ}46'19''E$ .



Gambar 2. Lokasi Bandar Udara Syukuran Aminuddin Amir Luwuk

### C. Pengambilan Sampel Data

Jenis dan sumber data yang akan digunakan dalam penelitian ini merupakan bagian yang sangat terkait dalam perencanaan tebal perkerasan runway, Adapun data – data dimaksud yaitu :

Data primer adalah data yang diperoleh langsung di lapangan dan Data sekunder terdiri dari data : CBR tanah Dasar, karakteristik Pesawat, Jumlah Penumpang, Barang dan Kargo, serta peraturan serta dokumen standar perencanaan dari Unit Pelaksana Teknis Bandar Udara Syukuran Aminuddin Amir Luwuk

Berikut ini adalah test pit untuk mengetahui ketebalan perkerasan eksisting, diambil 8 titik sampel, empat titik pada tepi landas pacu (runway), 2 titik pada tepi landas hubung (taxiway) dan 2 titik pada tepi landas parkir (Apron).

### D. Teknik Analisis Data

Metode FAA mengacu pada Advisory Circular (AC) No. 150-5320-6G menggunakan pendekatan mekanistik empirik. Langkah – langkah desain tebal perkerasan menggunakan program FAARFIELD adalah sebagai berikut :

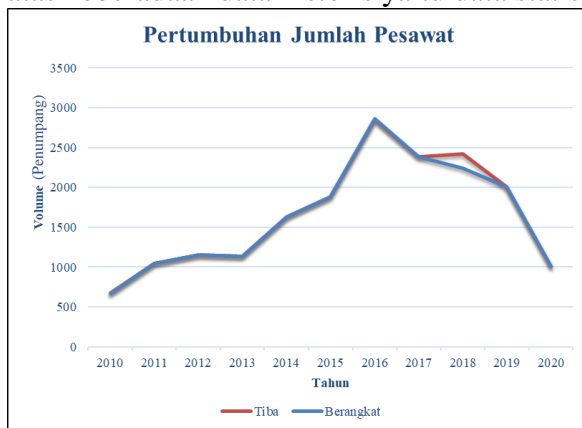
1. Menginput jenis perkerasan yang akan digunakan,
2. Menginput nilai CBR tanah dasar runway,
3. Menginput jenis- jenis pesawat yang akan menggunakan runway,
4. Menginput jumlah keberangkatan pesawat di awal umur rencana,
5. Menginputkan pertumbuhan Lalu Lintas,
6. Menginputkan umur rencana perkerasan,
7. Diperoleh output tebal setiap lapis perkerasan,
8. Diperoleh *Cumulative Damage Failure* (CDF).

Penggunaan FAARFIELD untuk melakukan perhitungan dan menghasilkan tebal perkerasan. Dengan menginput data umur rencana, nilai CBR atau modulus elastisitas, traffic mix dan jenis lapisan subbase dan base course yang akan digunakan dalam perencanaan.

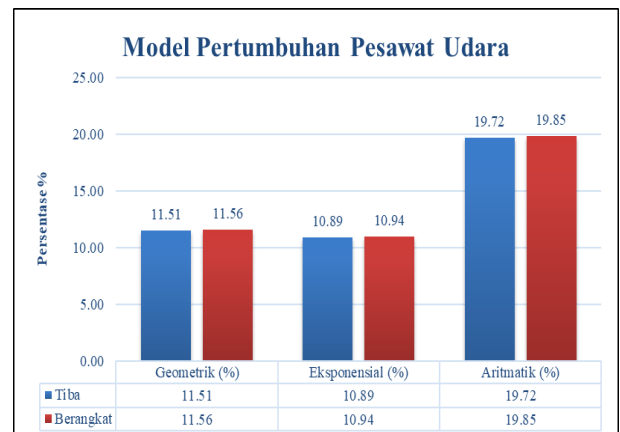
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Pertumbuhan Angkutan Udara

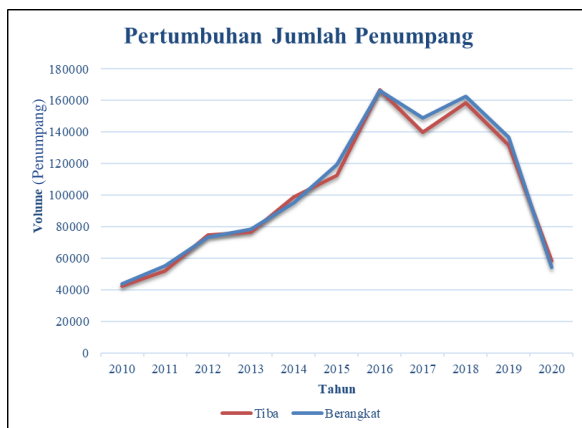
Untuk memprediksi pertumbuhan volume angkutan udara yang akan menggunakan Bandar Udara Syukuran Aminuddin Amir sampai dengan umur proyek dilaksanakan adalah faktor mempengaruhi yaitu faktor pertumbuhan jumlah pesawat udara yang tiba dan berangkat, jumlah penumpang yang tiba dan berangkat, jumlah kargo yang dibongkar dan dimuat, dan jumlah bagasi yang dibongkar dan dimuat. Untuk itu, prediksi pertumbuhan angkutan udara didasarkan atas keberadaan data historis yaitu data statistik.



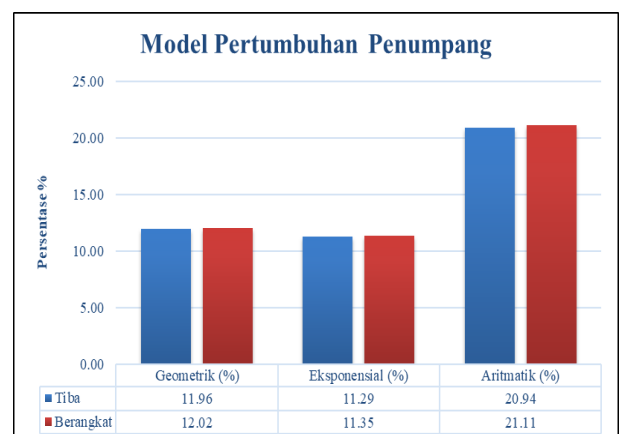
Gambar 3. Pertumbuhan Jumlah Pesawat dan Jumlah Penumpang Tahun 2010 – 2020



Gambar 5. Persentase Pertumbuhan Jumlah Pesawat dan Jumlah Penumpang



Gambar 4. Pertumbuhan Jumlah Pesawat dan Jumlah Penumpang Tahun 2010 – 2020



Gambar 6. Persentase Pertumbuhan Jumlah Pesawat dan Jumlah Penumpang

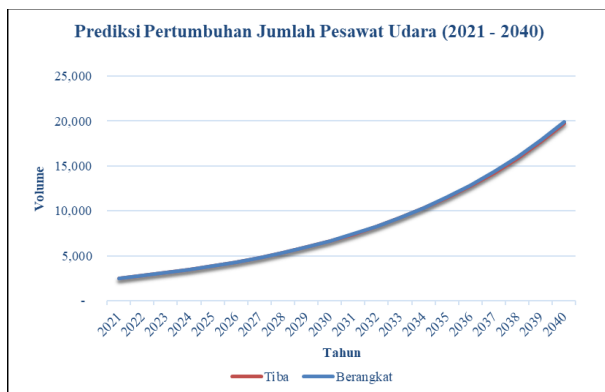
Dari Gambar 5 Model Pertumbuhan Jumlah Pesawat udara yang tiba dan Berangkat di Bandar Udara Syukuran Aminuddin Amir Tahun 2010 – 2019 terlihat bahwa jumlah pertumbuhan pesawat udara yang tiba dan berangkat dari model aritmatik lebih tinggi yaitu sebesar 19.72 % untuk pesawat udara yang tiba, dan sebesar 19.85 % untuk pesawat udara yang berangkat. Kemudian model geometrik yaitu sebesar 11.51% untuk pesawat udara yang tiba, dan 11.56% untuk pesawat udara yang berangkat. Nilai terendah diperoleh dari metode eksponensial yaitu sebesar 10.89 % untuk pesawat udara yang tiba, dan sebesar 10.94 % untuk pesawat udara yang berangkat. Dari Gambar 6 Model Pertumbuhan Jumlah Penumpang yang Tiba dan Berangkat di Bandar Udara Syukuran Aminuddin Amir Tahun 2010 - 2019 terlihat bahwa jumlah pertumbuhan penumpang yang tiba dan berangkat dari model aritmatik lebih tinggi yaitu



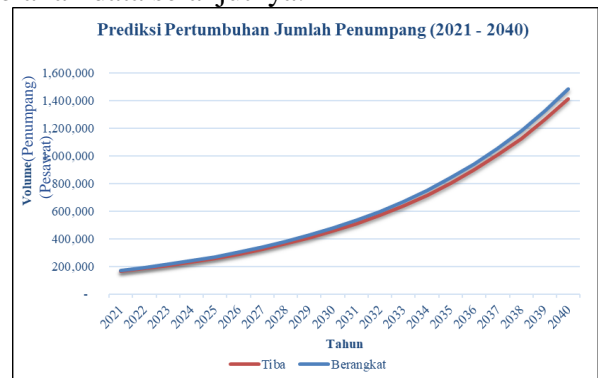
sebesar 20.94% untuk penumpang yang tiba, dan sebesar 21.11% untuk penumpang yang berangkat. Kemudian model geometrik yaitu sebesar 11.96% untuk penumpang yang tiba, dan sebesar 12.02% untuk penumpang yang berangkat. Nilai terendah diperoleh dari metode eksponensial yaitu sebesar 11.29% untuk penumpang yang tiba, dan sebesar 11.35 % untuk penumpang yang berangkat.

Dari ketiga model perhitungan pertumbuhan di atas kemudian dilakukan analisis untuk menentukan model apa yang dianggap terbaik dan akan digunakan dalam perhitungan terhadap tingkat pertumbuhan angkutan udara di Bandar Udara Syukuran Aminuddin Amir sehingga diharapkan proyeksi perhitungan pertumbuhan di masa yang akan tiba bisa memberikan perhitungan yang akurat dan mendekati kebenaran. Seperti dijelaskan sebelumnya bahwa model pertumbuhan geometrik memberikan asumsi bahwa laju pertumbuhan sama setiap tahunnya. Model pertumbuhan eksponensial adalah pertumbuhan yang langsung terus menerus (continuous) yang dipengaruhi oleh beberapa faktor, sebagai contoh dalam perhitungan pertumbuhan penduduk adanya pengaruh akibat faktor kelahiran dan kematian. Model pertumbuhan aritmatik memberikan proyeksi pertumbuhan dengan asumsi bahwa jumlah pertumbuhan pada masa depan akan bertambah dengan jumlah yang sama setiap tahun, model ini digunakan jika hanya jumlah pertumbuhan total yang ingin diketahui.

Hasil analisis terhadap ketiga model pertumbuhan di atas tersebut berdasarkan dari uraian definisi dan fungsi model pertumbuhan serta dari hasil perhitungan model pertumbuhan diambil kesimpulan bahwa model perhitungan geometrik adalah yang paling tepat untuk digunakan dalam memberikan proyeksi terhadap pertumbuhan angkutan udara di Bandar Udara Syukuran Aminuddin Amir yang akan digunakan dalam pengolahan data selanjutnya.



Gambar 7. Prediksi Pertumbuhan Jumlah Pesawat dan Jumlah Penumpang



Gambar 8. Prediksi Pertumbuhan Jumlah Pesawat dan Jumlah Penumpang

Berdasarkan data yang ada pada Bandar Udara Syukuran Aminuddin Amir, terdapat 3 jenis pesawat yang beroperasi, yakni ATR 72 – 600 dengan kapasitas 78 kursi, B 737 – 800NG dengan kapasitas 162 kursi dan A-320 dengan kapasitas 146 kursi. Kemudian pada Tahun 2030, seiring dilakukan penambahan panjang runway menjadi 2.500 meter, maka akan masuk pesawat baru yaitu B 737-900 dengan kapasitas 169 kursi. Sehingga estimasi kebutuhan jumlah pesawat pada Bandar Udara Syukuran Aminuddin Amir yang telah disesuaikan dengan jumlah penumpang yang ada adalah sebagai berikut.

**Tabel 1.** Data Pergerakan Lalu Lintas Udara

No	Tipe Pesawat	Jumlah Pesawat			
		2037	2038	2039	2040
1.	ATR 72 – 600	3677	4100	4572	5098
2.	B 737 – 800NG	1388	1548	1726	1925
3.	A-320	2799	3121	3481	3881

4.	B 737-900	1331	1484	1654	1845
<b>TOTAL</b>		<b>9195</b>	<b>10253</b>	<b>11433</b>	<b>12749</b>

Perhitungan Jumlah Pesawat pada Tahun 2030 dan 2040, dilakukan dengan melakukan peramalan pergerakan pesawat dengan tingkat pertumbuhan 11,51%.

#### B. Perkerasan Konstruksi Runway

Dari hasil pengujian testpit dari berbagai titik, ditetapkan bahwa tebal rencana yang akan dievaluasi menggunakan data tebal perkerasan yang memiliki Nilai CDF yang tertinggi untuk setiap jenis tebal perkerasan yang ada, yaitu pada Titik 2, yaitu tebal Aspal 215 mm, tebal Batu Pecah 100 mm dan tebal Sirtu 200 mm. Berdasarkan data lapangan dari hasil wawancara dengan pihak Bandar Udara Amiruddin Amir Luwuk, data nilai CBR pada subgrade adalah sebesar 15%.

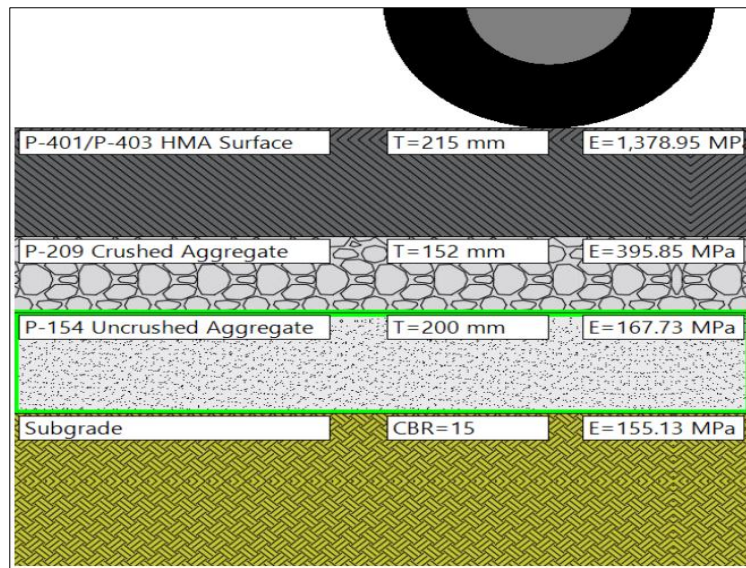
Program bantu FAARFIELD (Federal Aviation Administration Rigit and Flexible Iterative Elastic Layered) menerapkan prosedur layer elastic dan finite element untuk merencanakan perkerasan baru maupun overlay pada perkerasan lentur dan perkerasan kaku. Program bantu FAARFIELD hanya memiliki 1 jenis program yaitu FAARFIELD 2.0 dengan ekstensi exe atau dikenal sebagai file eksekusi. Berikut tampilan awal program utama FAARFIELD beserta keterangannya.

Perhitungan perkerasan flexibel dilakukan dengan menggunakan software FAARFIELD versi 2.0. Untuk mendapatkan tebal konstruksi perkerasan fleksibel pada evaluasi tebal perkerasan landas pacu (runway), sesuai dengan data pesawat yang beroperasi pada Bandar Udara Syukuran Aminuddin Amir Luwuk.

Dalam menginput pesawat pada software FAARFIELD 2.0. yang dibutuhkan adalah Annual Departure karena pesawat ketika akan take off akan membawa beban yang berat dalam kondisi MTOW (Maximum Take Off Weight). Jumlah keberangkatan pesawat dalam setahun dijadikan kedalam 20 tahun untuk masing-masing pesawat, karena standar umur untuk desain perkerasan menggunakan program ini adalah 20 tahun. Dari jenis /tipe pesawat yang diinput diperoleh hasil perhitungan seperti pada gambar berikut:

Airplane Name	Gross Taxi Weight (kg)	Annual Departures	Annual Growth (%)	Total Departures	CDF Contributions	CDF Max for Airplane	P/C Ratio
Truck Axle Dual	19,990	4,572	0	91,440	0	0	1.79
B737-800	79,242	1,726	0	34,520	0	0	1.35
A320-200 std	73,900	3,481	0	69,620	0	0	1.36
B737-900	79,242	1,654	0	33,080	0	0	1.35

Gambar 9. Penginputan Jenis Pesawat



Gambar 10. Jenis Perkerasan Eksisting pada Bandara Amiruddin Amir

### C. Analisis dan Evaluasi Tebal Runway

Metode Cumulative Damage Factor (CDF) didasarkan pada prinsip Miner's Ruler yang menyatakan bahwa kerusakan yang terjadi pada struktur perkerasan sebanding dengan jumlah aplikasi beban dibagi dengan jumlah aplikasi beban yang dibutuhkan untuk mengagalkan struktur perkerasan. Dalam analisis CDF dari masing-masing pesawat secara sederhana adalah jangka waktu 20 tahun pesawat (20 years coverage) dibagi dengan jumlah dari cakupan kegagalan. Total CDF menunjukkan gabungan kerusakan yang terjadi pada lalu lintas yang dianalisis dengan memilih satu jenis pesawat rencana sebagai pesawat kritis dan menghitung total equivalent coverages, ketebalan yang sesuai untuk evaluation thickness (dimana ketebalannya lebih besar dari tebal yang disarankan pada tabel input traffic data), dan berat kotor pesawat (gross weight) maksimum pesawat yang diizinkan. Total CDF pada tabel nilai PCN memiliki nilai lebih kecil dari 1 ( $CDF \ll 1$ ) yang berarti perkerasan landas pacu tersebut sangat kuat untuk mengakomodasi lalu lintas yang diperkirakan.

Hasil perhitungan menggunakan Federal Aviation Administration AC 150/5320-6G dengan menggunakan software FAARFIELD dengan nilai CBR 15% dengan umur rencana 20 Tahun pada Tahun 2040 didapatkan bahwa nilai Subgrade CDF sebesar 0,00 dan HMA CDF sebesar 0,86. Hal ini menjelaskan bahwa nilai CDF pada lapisan subgrade sangat rendah, disebabkan nilai CBR pada lapisan ini yang cukup tinggi, yaitu sebesar 15%. Pada lapisan permukaan (HMA) didapatkan nilai  $< 1$ , artinya lapisan ini mampu menahan beban dari pesawat Boeing 737-900 dan A 320-200 yang memiliki bobot yang cukup besar dan jumlah repetisi yang tinggi. Hasil pengujian dengan software FAARFIELD mengubah tebal perkerasan untuk lapisan base menjadi 152 mm (nilai minimum) dari nilai 100 mm. Sehingga dalam perencanaan tebal perkerasan, mengharuskan adanya penambahan lapisan sebesar 52 mm. Kemudian dianalisis kembali pada Tahun 2039 didapatkan bahwa nilai.

Subgrade CDF sebesar 0,00 dan HMA CDF sebesar 0,77 dan pada Tahun 2038 didapatkan bahwa nilai Subgrade CDF sebesar 0,00 dan HMA CDF sebesar 0,69.

Perkiraan umur rencana pada Bandar Udara Syukuran Aminuddin Amir – Luwuk yang menggunakan desain 20 tahun dengan peningkatan pertumbuhan transportasi udara yang cukup tinggi, mampu dicapai umur rencananya di tahun 2040. Meskipun perlu dilakukan peningkatan kembali pada lapisan base dengan melakukan overlay setebal 52 mm untuk mencapai tebal minimum.

## **KESIMPULAN**

Sesuai dengan hasil analisis yang diuraikan sebelumnya, maka penelitian ini memberi kesimpulan sebagai berikut. Pertumbuhan Transportasi Udara pada Bandar Udara Syukuran Aminuddin Amir Luwuk mengalami peningkatan setiap tahun dengan jumlah pesawat sebesar 12.749 pesawat, jumlah penumpang yang tiba 1.421.035 orang dan penumpang yang berangkat 1.483.901 orang. Hasil evaluasi pada tebal perkerasan runway yang memiliki nilai CBR 15%, dengan tebal perkerasan 215 mm untuk HMA Surface, 152 mm untuk Crushed Aggregate dan 200 mm untuk Uncrushed Aggregate dengan umur layanan 20 tahun pada Tahun 2040 didapatkan bahwa nilai Subgrade CDF sebesar 0,00 dan HMA CDF sebesar 0,86. Hasil pengujian dengan software FAARFIELD mengubah tebal perkerasan untuk lapisan base menjadi 152 mm (nilai minimum) dari nilai 100 mm. Sehingga dalam perencanaan tebal perkerasan, mengharuskan adanya penambahan lapisan sebesar 52 mm.

## **UCAPAN TERIMA KASIH**

Terimakasih saya ucapkan kepada Universitas Tompotika Luwuk serta keluarga yang telah memberikan support serta do'anya.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Adisasmitha, S. A. 2011. Jaringan Transportasi: Teori dan Analisis. Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Adisasmitha, S. A.. 2011 . Perencanaan dan Pembangunan Transportasi. Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Adisasmitha, S.A. 2012. Penerbangan dan Bandar Udara. Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Almi, H.. 2018. Perencanaan Pengembangan Landasan Pacu (Runway) dan Landasan Hubung (Taxiway) Pada Bandara Sultan Syarif Kasim II. Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Basuki, H.. 1986 . Merancang Merencana Lapangan Terbang. PT. Alumni Cetakan kedua, Bandung.
- Cholid, dkk. 2010. Pengertian dan Istilah Penerbangan Sipil. PT. Raja Grafindo, Persada, Jakarta.
- Departemen Perhubungan,. 2006. Peraturan Menteri Perhubungan No Km 49 Tahun 2006 tentang Sistem Transportasi Nasional (SISTRANAS). Jakarta.
- Dergibson Siagian dan Sugiarto. 2000. Metode Statistika untuk Bisnis dan Ekonomi. PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta
- Dharma, A. B. 2006. Evaluasi Tebal Lapis Keras Landas Pacu Bandara Adisutjipto Guna Melayani Penerbangan Internasional dengan Metode CBR, FAA dan LCN. Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Direktorat Jenderal Perhubungan Udara. 2019. Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Udara Nomor 326 Tahun 2019 tentang Standar Teknis Dan Operasional Peraturan Keselamatan Penerbangan Sipil Bagian 139 (Manual of Standart CASR –Part) Volume I Bandar Udara (Aerodrome). Jakarta
- Federal Aviation Administration, 2010. Standards for Airport Marking, FAA Advisory Circular 150/5340-IK. Washington DC.
- Federal Aviation Administration, 2014. Standards for Airport Marking, FAA Advisory Circular 150/5300-13A. Washington DC.
- Federal Aviation Administration, 2009. Advisory Circular 150-5320-6E. Airport Pavement Design and Evaluation. Departemen of Transportation. United States.
- Federal Aviation Administration, 2014. Advisory Circular 150-5320-6F, Airport Pavement Design and Evaluation. Departemen of Transportation. United States
- Horonjeff R & Mckelvey Fx. 2010. Planning and Design of Airports. McGraw-Hill Book co. Singapore.

- ICAO. 2013. Aerodromes Annex 14 to the Convention on International Civil Aviation, Vol.1: Aerodromes Design and Operations. International Civil Aviation Organization. Montreal, Canada.
- Pratama, H. Y. 2015. Analisis Tebal dan Perpanjangan Landasan Pacu Pada Bandar Udara Internasional Sultan Mahmud Badaruddin II. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 3 (1), 741-748.
- R. T. Bethary, M. Fakhururiza P., S. Basidik, (2015). Analisa Kekuatan Perkerasan Runway, Taxiway, dan Apron (Studi Kasus Bandar Udara Soekarno Hatta dengan Pesawat Airbus A-380). *Student Journal of the Ageng Tirtayasa University*.
- Setiani, B. 2018. Prinsip-Prinsip Pokok Pengelolaan Jasa Transportasi Udara. *Jurnal Ilmiah Widya*.
- Shafabakhsh G. A., E. Kashi. (2014). Effect of Aircraft Wheel Load and Configuration on Runway Damages. *Semnan University, Iran: Periodica Polytechnica Civil Engineering*.
- Wardhani Sartono, dkk. 2015. Bandar Udara, Pengenalan dan Perancangan Geometrik Runway, Taxiway dan Apron. *Gadjah Mada University Press*.
- Yusuf, A. M. 2016. Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif & Penelitian Gabungan. *Prenada Media*.