

**Perbandingan Perencanaan Tebal Lapis Perkerasan
Bandara Antara Metode Grafik *US Army Corps Engineer*
dan *Federal Aviation Administration (FAA)***

(Studi Kasus: Bandara Kolaka Utara, Sulawesi Tenggara)



STUDI KASUS

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Insinyur
pada Program Studi Profesi Insinyur**

Oleh:

Nama: WAWARISA ALNU FISTCAR

NIM: 21000121220072

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN PROFESI INSINYUR
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG**


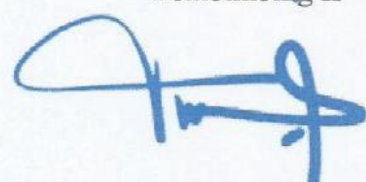
2022

LEMBAR PENGESAHAN

Laporan Karya Ilmiah atas nama:

Nama : Wawarisa Alnu Fistcar, S.T., M.T., IPP
Nim : 21000121220072
Program Studi : Pendidikan Profesi Insinyur
Judul : Perbandingan Perencanaan Tebal Lapis Perkerasan Bandara Antara Metode Grafik *US Army Corps Engineer* dan *Federal Aviation Administration (FAA)* (Studi Kasus: Bandara Kolaka Utara, Sulawesi Tenggara)

Telah memenuhi persyaratan kaidah Laporan Karya Ilmiah di Program Studi Pendidikan Profesi Insinyur Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.

Pembimbing I	Semarang, Pembimbing II 2022
	
<u>Ir. Bambang Sudarsono, M.S., IPM</u> NIP. 195709131986031001	<u>Prof. Dr. Ir. Widayat, S.T., M.T., IPM</u> NIP. 19720609199803101

LEMBAR PERSETUJUAN

KARYA ILMIAH

Perbandingan Perencanaan Tebal Lapis Perkerasan Bandara Antara Metode Grafik *US Army Corps Engineer* dan *Federal Aviation Administration (FAA)*
(Studi Kasus: Bandara Kolaka Utara, Sulawesi Tenggara)

Disusun oleh:

Wawarisa Alnu Fistear

NIM. 21000121220072

Telah diujikan dan dinyatakan lulus oleh tim penguji

Pada tanggal: 31 Mei 2022

Tim penguji,

Pembimbing I



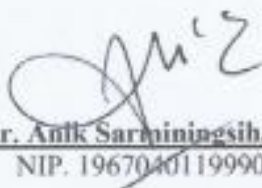
Ir. Bambang Sudarsono, M.S., IPM
NIP. 195709131986031001

Pembimbing II



Prof. Dr. Ir. Widayat, S.T., M.T., IPM
NIP. 19720609199803101

Penguji I



Dr. Ir. Anik Sarniningsih, M.T., IPM.
NIP. 196704011999032001

Penguji II



Prof. Dr. Ir. Suripin, M.Eng.
NIP. 196004271987031001

Karya ilmiah ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar
Insinyur (Ir.)

Kepala Program Studi
Pendidikan Profesi Insinyur



Prof. Dr. Ir. Widayat, S.T., M.T., IPM
NIP. 19720609199803101

PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sebenar – benarnya bahwa:

Penelitian yang berjudul “**Perbandingan Perencanaan Tebal Lapis Perkerasan Bandara Antara Metode Grafik US Army Corps Engineer dan Federal Aviation Administration (FAA) (Studi Kasus: Bandara Kolaka Utara, Sulawesi Tenggara)**” ini adalah karya penelitian saya dan tidak terdapat karya/tulis untuk memperoleh gelar akademik, maupun karya ilmiah/tulis yang pernah dipublikasikan oleh orang lain, kecuali dijadikan kutipan dari bagian karya tulis orang lain dengan menyebutkan sumbernya, baik dalam naskah penelitian maupun daftar pustaka.

Apabila ternyata ditemukan dan terbukti terdapat unsur – unsur plagiasi di dalam naskah penelitian ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan peraturan akademik Universitas Diponegoro dan/atau perundang – undangan yang berlaku.

Kendal, 10 Mei 2022



Wawarisa Alnu Fistcar, S.T., M.T., IPP
NIM. 21000121220072

ABSTRAK

Perkerasan bandar udara didesain mengikuti metode *US corporation of enginners* atau lebih dikenal dengan metode *California Bearing Ratio* (CBR) dan metode FAA (*Federal Aviation Administration*) yang di bentuk oleh Lembaga Amerika Serikat berfungsi untuk membuat regulasi hal – hal yang berhubungan dengan penerbangan dan navigasi di Amerika. FAA mengeluarkan peraturan perhitungan struktur perkerasan bandar udara yaitu AC (*Advisory Circular*) 150_5320_6D yang pada dasarnya sama dengan metode CBR. Pada tahun 2021 FAA mengeluarkan standar perhitungan struktur perkerasan bandar udara yaitu AC (*Advisory Circular*) 150_5320_6G yang menggunakan program bantu FAARFIELD, kedua perhitungan struktur perkerasan ini sangat berbeda prosedur perhitungannya, pada metode grafis digunakan pesawat- pesawat yang beroperasi di suatu bandar udara harus di konversi menjadi pesawat desain. Sedangkan metode dengan program bantu semua jenis pesawat yang beroperasi dihitung pengaruhnya terhadap kerusakan perkerasan untuk menentukan tebal perkerasan yang bisa menerima total beban pergerakan pesawat.

Dengan merencanakan tebal perkerasan menggunakan metode grafik serta program bantu akan lebih valid dibandingkan hanya menggunakan satu metode. Hal tersebut disebabkan oleh perbedaan variabel – variable yang mempengaruhi ketidaksamaan dalam kedua metode tersebut yaitu, penentuan jenis pesawat rencana, metode yang dilakukan, serta umur rencana.

Perbedaan tebal perkerasan paling besar 7,6 cm, pada lapisan *base course* jenis perkerasan lentur. Pada Program Bantu FAARFIELD, beban pesawat diperhitungkan semua sebagai penyumbang kerusakan perkerasan yang ditunjukkan oleh nilai CDF yang mampu mengakomodasi beban pesawat, berbeda halnya dengan cara grafis yang pesawatnya dikonversi menjadi pesawat rencana. Tebal *base course* dengan menggunakan cara grafis lebih besar dibanding cara Program Bantu FAARFIELD, hal ini disebabkan pada saat melakukan perhitungan, nilai awal *base course* adalah nilai minimum yang berdasarkan tabel minimum *base course* untuk penggunaan material lapisan pondasi atas (AC No.150_5320_6G). Tebal perkerasan *surface course* adalah sama menurut ketentuan FAA untuk tebal kritis *surface course* yaitu sebesar 4 in atau 102 mm.

Kata kunci: Grafis, FAARFIELD, Perkerasan, *US corporation of enginners*.

ABSTRACT

The airport pavement is designed to follow the US corporation of engineers method or better known as the California Bearing Ratio (CBR) method and the FAA (Federal Aviation Administration) method which was formed by the United States Institution to regulate matters relating to aviation and navigation in America. The FAA issued a regulation for calculating airport pavement structures, namely AC (Advisory Circular) 150_5320_6D which is basically the same as the CBR method. In 2021 the FAA issued a standard for calculating airport pavement structures, namely AC (Advisory Circular) 150_5320_6G which uses the FAARFIELD program, these two pavement structure calculations have very different calculation procedures, in the graphical method, aircraft operating at an airport must be converted. be a design plane. While the method with the auxiliary program of all types of aircraft operating is calculated for its effect on pavement damage to determine the thickness of the pavement that can accept the total load of aircraft movement.

By plotting the thickness of the pavement using the graphical method and auxiliary programs, it will be more valid than using only one method. This is caused by differences in the variables that affect the inequality in the two methods, namely, determining the type of aircraft plan, the method used, and the age of the plan.

The biggest difference in pavement thickness is 7.6 cm, in the base course layer the flexible pavement type. In the FAARFIELD Auxiliary Program, all aircraft loads are taken into account as a contributor to pavement damage which is indicated by the CDF value that is able to accommodate aircraft loads, in contrast to the graphical method where the aircraft is converted into a design aircraft. The thickness of the base course using the graphical method is greater than the FAARFIELD Auxiliary Program method, this is because when doing the calculations, the initial value of the base course is the minimum value based on the table of the minimum base course for the use of the top foundation layer material (AC No.150_5320_6G). The thickness of the surface course pavement is the same according to the FAA provisions for the critical thickness of the surface course, which is 4 in or 102 mm.

Keyword: Graphic, FAARFIELD, Pavement, US Corporation of Engineers

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERSETUJUAN	iii
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iv
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL	xii
KATA PENGANTAR.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	4
1.3. Tujuan Penelitian	4
1.4. Batasan Masalah	5
1.5. Manfaat Penelitian	5
1.6. Sistematika Penulisan.....	5
1.7. Lokasi Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Umum	7
2.2. Jenis dan Bahan Perkerasan.....	8
2.3. Perkerasan Lentur	11
2.4. Perkerasan Kaku	13
2.5. Karakteristik Pesawat	14

2.5.1. Beban Pesawat.....	15
2.5.2. Kondisi Fisik Pesawat.....	16
2.6. Metode Perancangan Tebal Perkerasan Bandara.....	18
2.6.1. Metode <i>Corps of Engineers</i> (Metode CBR) atau Cara Grafis	18
2.6.2. Metode FAA Perkerasan Lentur Cara Grafis	25
2.6.3. Metode <i>Software</i> FAARFIELD.....	32
2.6.4. Pertimbangan Perencanaan Perkerasan	36
2.6.5. Parameter Penentu Kerusakan	40
BAB III METODOLOGI	41
3.1. Umum	41
3.2. Diagram Alir Penelitian.....	41
3.3. Uraian dan Rincian Sistematis Alur Penelitian	43
3.3.1 Tahap persiapan.....	43
3.3.2 Tahap identifikasi masalah	44
3.3.3 Studi Pustaka.....	44
3.3.4 Pengumpulan data.....	45
3.3.5 Analisa data	47
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	63
4.1. Analisa Perbedaan Variabel.....	63
4.2. Analisa Perhitungan Tebal Perkerasan	64
4.2.1. Perhitungan perkerasan lentur metode <i>US Army Corp Engineers</i> (Grafik).....	64
4.2.2. Perhitungan perkerasan lentur metode FAA AC (<i>Advisory Circular</i>) 150_5320_6G Program bantu FAARFIELD V 2.0.7....	74

4.2.3.Perhitungan perkerasan kaku metode <i>US Army Corp Engineers</i> (Grafik)	77
4.2.4.Perhitungan perkerasan kaku metode FAA AC (Advisory Circular) 150_5320_6G Program bantu FAARFIELD V 2.0.7	80
4.3. Perbandingan Tebal Perkerasan Metode <i>Us Corporation of Engineers</i> (Grafik) dan <i>FAA AC (Advisory Circular) 150_5320_6G (FAARFILED)</i>	90
4.3.1. Analisa Hasil.....	92
BAB V_KESIMPULAN DAN SARAN	93
5.1. Kesimpulan.....	93
5.2. Saran	94
DAFTAR PUSTAKA.....	95
LAMPIRAN	98

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Peta Lokasi Kabupaten Kolaka Utara	6
Gambar 2.1. Lapisan perkerasan lentur	11
Gambar 2.2. Lapisan perkerasan kaku	14
Gambar 2.3. Kurva CBR Original	19
Gambar 2.4. Kurva pembebanan <i>Single Wheel</i>	21
Gambar 2.5. Kurva pembebanan <i>Dual Wheel</i>	22
Gambar 2.6. Kurva pembebanan <i>Dual Tandem</i>	22
Gambar 2.7. Kurva pembebanan <i>Dual Doble Tandem</i>	23
Gambar 2.8. Kurva desain untuk roda tunggal (<i>Single Wheel Gear</i>)	29
Gambar 2.9. Kurva desain untuk roda ganda (<i>Double Wheel Gear</i>).....	30
Gambar 2.10. Kurva desain untuk roda ganda tandem (<i>Double Tandem Gear</i>) .	30
Gambar 2.11. Memasukan data pesawat.....	32
Gambar 2.12. Tampilan pengeditan titik distribusi roda	33
Gambar 2.13. contoh CDF kontribusi pesawat rencana.....	35
Gambar 3.1. Diagram Alir Pengerjaan Penelitian.....	43
Gambar 3.2. Step 1 Program Bantu FAARFIELD	49
Gambar 3.3. Step 2 Program Bantu FAARFIELD	49
Gambar 3.4. Step 3 Program Bantu FAARFIELD	50
Gambar 3.5. Step 4 Program Bantu FAARFIELD	50
Gambar 3.6. Step 5 Program Bantu FAARFIELD	51
Gambar 3.7. Step 6 Program Bantu FAARFIELD	51
Gambar 3.9. Pengaruh pondasi terstabilisasi pada modulus <i>Subgrade</i>	55
Gambar 3.10. Tulangan tertanam (<i>Embedment Steel</i>) dalam beton.....	56
Gambar 3.11. Kontruksi sambungan perkerasan kaku	57
Gambar 3.12. pola distribusi beban pada dowel sepanjang radius kekauan	58
Gambar 3.13. Analisa perilaku lendutan dowel	58
Gambar 3.14. Model interaksi dowel dan beton	59
Gambar 3.15. Sambungan pada perkerasan beton semen	62
Gambar 4.1. Grafik tebal perkerasan untuk pesawat Boeing 737-900 ER	71
Gambar 4.2. Grafik tebal perkerasan minimum <i>Base Course</i>	72

Gambar 4.3. Susunan perkerasan lentur menggunakan cara grafik.....	73
Gambar 4.4. Hasil analisa PCN kontruksi perkerasan lentur.....	74
Gambar 4.5. Pesawat rencana pada saat tahap ultimate.....	75
Gambar 4.6. Material rencana perkerasan pada saat tahap ultimate	75
Gambar 4.7. <i>Cummulative Dammage Factor</i> (CDF) Komulatif perkerasan lentur	76
Gambar 4.8. Susunan perkerasan lentur mnggunakan Program bantu FAARFIELD	76
Gambar 4.9. Kontruksi perkerasan kaku.....	77
Gambar 4.10. Pengaruh pondasi terstabilisasi pada modulus subgrade	78
Gambar 4.11. Kurva perencanaan perkerasan kaku untuk pesawat terbang roda pendaratan tipe <i>dual wheel gear</i>	79
Gambar 4.12. Perhitungan perkerasan kaku Spread Sheet COMFAA Suport.....	79
Gambar 4.13. Susunan perkerasan kaku mnggunakan Program bantu FAARFIELD	80
Gambar 4.14. <i>Cummulative Dammage Factor</i> (CDF) Komulatif perkerasan kaku	81
Gambar 4.15. Hasil analisa PCN kontruksi perkerasan kaku	81
Gambar 4.16. Rencana kontruksi perkerasan kaku slab beton bertulang	82
Gambar 4.17. Denah dan Tipe Sambungan Perkerasan Kaku	83
Gambar 4.18. Detail joint tipe B dan C Tipe Perkerasan Kaku	84
Gambar 4.19. Posisi dowel pada tepi sambungan.....	84
Gambar 4.20. Detail joint tipe A Tepi Perkerasan Kaku	84
Gambar 4.21. Perbandingan metode perkerasan lentur	91
Gambar 4.22. Perbandingan metode perkerasan kaku.....	91

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Konfigurasi sumbu pesawat.....	16
Tabel 2.0-2 Sifat bahan	23
Tabel 2.3. Kedalaman Pemadatan (tanah kohesif).....	24
Tabel 2.4. Desain beban berat.....	24
Tabel 2.5. Desain beban sedang.....	24
Tabel 2.6. Desain beban ringan.....	25
Tabel 2.7. Desain keperluan subbase.....	25
Tabel 2.8. Kelas Tanah Dasar (<i>Subgrade</i>) untuk perkerasan lentur	28
Tabel 2.9. Hubungan Tanah Dasar dan Kelas Tanah.....	29
Tabel 2.10. Sifat bahan perkerasan	31
Tabel 2.11. Kedalaman pemadatan (tanah kohesif).....	31
Tabel 2.12. Contoh lapisan perkerasan	34
Tabel 2.13. Contoh kedatangan pesawat.....	34
Tabel 2.14. <i>Pass to Coverage Ratio</i>	36
Tabel 2.15. <i>FAARFIELD Default Value</i>	36
Tabel 2.16. Tebal minimum Base Course untuk Program bantu FAARFIELD...	39
Tabel 3.1. Prediksi pergerakan pesawat di Bandar udara Sangia Nibandera.....	45
Tabel 3.2. Tata cara penulisan PCN di Bandar udara Sangia Nibandera	46
Tabel 3.3. Kategori daya dukung tanah di Bandar udara Sangia Nibandera	46
Tabel 3.4. Tekanan roda di Bandar udara Sangia Nibandera	47
Tabel 3.5. Tebal minimal lapisan perkerasan kaku ¹	53
Tabel 3.6. Ukuran dan berat besi tulangan tertanam dalam beton.....	56
Tabel 3.7. Jarak sambungan maksimum perkerasan kaku	57
Tabel 3.8. Ukuran dan jarak dowel.....	61
Tabel 4.1. Perbedaan konsep perhitungan kedua metode perencanaan perkerasan bandar udara.	63
Tabel 4.2. Jenis pesawat, susunan roda, MTOW dan keberangkatan tahunan	65
Tabel 4.3. Hasil hitungan <i>Equivalen Annual Departure</i>	68
Tabel 4.4. penulisan PCN di Bandar udara Sangia Nibandera	69
Tabel 4.5. Kategori daya dukung tanah di Bandar udara Sangia Nibandera	70

Tabel 4.6. Tekanan roda di Bandar udara Sangia Nibandera	70
Tabel 4.7. Susunan perkerasan lentur dengan metode grafik	73
Tabel 4.8. Susunan perkerasan lentur dengan Program bantu FAARFIELD	75
Tabel 4.8. Data perencanaan perkerasan kaku landas pacu	77
Tabel 4.10. Susunan perkerasan kaku dengan Program bantu FAARFIELD.....	80
Tabel 4.11 Tulangan Perata Beban Perkerasan Helipad.....	83
Tabel 4.12 Perhitungan kebutuhan luas tiebar	86
Tabel 4.13 Langkah I.....	88
Tabel 4.14 Langkah II.....	89
Tabel 4.15 Perbandingan hasil tebal perkerasan.....	90

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb

Dengan mengucapkan puji syukur kepada Allah SWT atas segala karunia, rahmat, dan ridho-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian yang berjudul “*Perbandingan Perencanaan Tebal Lapis Perkerasan Bandara Antara Metode Grafik US Army Corps Engineer dan Federal Aviation Administration (FAA) (Studi Kasus: Bandara Kolaka Utara, Sulawesi Tenggara)*”.

Dalam proses penyusunan penelitian, penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu. Untuk itu penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Orang tua yang telah memberi dukungan, baik secara moril materiil yang tak terhingga sehingga penulis bisa menyelesaikan penelitian.
2. Istriku Yunita Lisnaningtyas Utami, S.Pd., M.Ak., Ak, yang selalu memberikan motivasi dan semangat.
3. Bapak Ir. Bambang Sudarsono, M.S., IPM selaku dosen konsultasi bidang Teknik sipil, yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan motivasi dalam penyusunan tesis.
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Widayat, S.T., M.T., IPM, selaku dosen konsultasi bidang keinsinyuran yang telah memberikan bimbingan, arahan dan motivasinya.
5. Bapak Prof. Dr. Ir. Syafrudin, CES, M.T., IPM, selaku dosen penguji bidang lingkungan yang memberikan masukan serta koreksi demi kesempurnaan penelitian ini.
6. Bapak Prof. Dr. Ir. Suripin, M.Eng. selaku dosen penguji bidang hidro yang memberikan masukan untuk perencanaan drainase dalam perencanaan lapis perkerasan bandar udara.
7. Ibu Dr.Ing.Ir. Silviana, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng., selaku dosen wali yang telah banyak membantu selama menjalani Pendidikan Profesi Insinyur.

8. Ibu Silviani, S.E., selaku biro administrasi akademik dan kemahasiswaan, Program Studi Pendidikan Profesi Insinyur, yang tidak pernah lelah mengingatkan target masa studi.
9. Bapak Nurkholik, S.E., M.Si, selaku rektor Universitas Selamat Sri yang memberikan izin menempuh studi.
10. Bapak Nanang Swastya Taruf, S.T., ICRE, selaku direktur PT. Portal Engineering, terima kasih atas bimbingan dilapangan dan atas kesempatannya untuk menjadi tim ahli bidang perkerasan bandar udara.
11. Bapak Andy Rahmadi Herlambang, S.T., M.T, selaku senior di bidang perkerasan bandar udara yang telah membantu dalam penyelesaian penelitian ini.
12. Bapak Ir. Andhika Pradifan, S.T., IPP, selaku ketua forum Insinyur Muda Jawa Tengah, yang memberikan motivasi dalam bidang keprofesian
13. Semua pihak terkait yang telah membantu.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dan jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu penulis mengharapkan saran dan kritik demi sempurnanya penyusunan tulisan ini. Semoga tulisan ini dapat memberikan manfaat bagi para pembaca dan semua pihak.

Kendal, Mei 2022

Penulis

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Ketersediaan sarana dan prasarana transportasi merupakan suatu persyaratan utama dalam mendukung pengembangan wilayah suatu daerah, terutama bagi daerah – daerah yang mempunyai potensi sumber daya yang besar, namun kurang didukung oleh prasarana dan sarana transportasi yang memadai. Transportasi udara merupakan sarana penting dalam perjalanan ke berbagai lokasi, terutama daerah terpencil yang sulit dicapai dengan transportasi darat maupun transportasi laut. Angkutan udara sebagai salah satu moda transportasi yang ditata dalam sistem transportasi nasional, telah menjadi salah satu penghubung wilayah nasional dan internasional dalam rangka mendorong dan mempercepat pembangunan nasional dan peningkatan kesejahteraan rakyat. Angkutan udara mempunyai peran yang cukup besar dalam menunjang kegiatan ekonomi suatu daerah terutama sektor perdagangan dan pariwisata (Gu et al., 2022).

Sub sektor angkutan udara mempunyai keunggulan dalam kecepatan yang tinggi atau waktu tempuh yang cukup singkat dan jangkauan atau cakupan yang luas (de Souza & de Almeida Filho, 2020). Bandar udara sebagai salah satu unsur dalam penyelenggaraan penerbangan dan angkutan udara merupakan tempat atau titik (*node*) asal (*origin*) maupun tujuan (*destination*) (Shi et al., 2020), perjalanan pengguna angkutan udara dalam melakukan berbagai kegiatan ekonomi, kegiatan pemerintahan maupun kegiatan lainnya, perlu terus ditata secara terpadu dalam satu kesatuan tatanan kebandarudaraan nasional untuk mewujudkan penyelenggaraan penerbangan yang handal dan berkemampuan tinggi.

Sesuai dengan kebijakan pemerintah di bidang perhubungan yang diamanatkan dalam rencana strategis pembangunan nasional (Kementerian Perhubungan Republik Indonesia, 2014), khususnya di sektor perhubungan udara, maka penyelenggaraan transportasi udara berpedoman pada efektifitas, efisiensi dari pergerakan barang dan penumpang ke seluruh dunia, dengan tetap berpegang pada prinsip layak secara teknis dan ekonomis, aman bagi masyarakat, diterima secara sosial budaya, dan tidak

mengakibatkan kerusakan lingkungan (Di Mascio & Moretti, 2019) dan (Zhong et al., 2020). Sebagai salah satu bagian sub sektor transportasi, transportasi udara mempunyai kedudukan yang cukup strategis dalam konteks peran dan sumbangannya dalam pembangunan nasional. Salah satu komponen penting dalam pengembangan dan peningkatan kualitas pelayanan pada transportasi udara adalah pengembangan kinerja bandar udara (Abbondati et al., 2020) .

Beberapa alasan yang mendasari pentingnya peningkatan kualitas dan kinerja bandar udara antara lain, bandar udara merupakan prasarana angkutan udara yang menjadi tempat dimana aktivitas pelayanan jasa angkutan udara bertemu (White, 2018), untuk mendukung aktivitas pelayanan jasa angkutan udara, diperlukan ketersediaan fasilitas yang memadai, pengaturan dan pelayanan serta ruang udara yang dapat menjamin kelancaran dan keselamatan operasi penerbangan serta pelestarian lingkungan sekitarnya (Jamshidi et al., 2015) dan (Lai et al., 2014), dengan demikian semakin tinggi tingkat mobiltas arus barang dan manusia, selama dengan meningkatnya laju pertumbuhan ekonomi, fungsi dan peranan bandar udara menjadi semakin berkembang. Berdasarkan pentingnya peningkatan kualitas dan kinerja bandar udara dan dalam rangka pembangunan bandar udara guna mendukung kebutuhan jasa pelayanan transportasi antar wilayah yang cepat, aman, nyaman dan efisien (Rezky, Cok Nanda Late & Ahyudanari, 2016).

Ketersediaan infratraktur transportasi secara kuantitas maupun kualitas yang lebih memadai sangat dibutuhkan oleh masyarakat sesuai dengan paradigma baru peran sebagai regulator dan fasilitator diharapkan mampu mengatasi permasalahan ini. Hal ini tentunya akan lebih memperbesar peran pihak swasta dalam proses pembangunan. Sebagaimana diketahui dan telah menjadi fakta bahwa sektor swasta merupakan *engine of growth* dalam suatu pembangunan. Pembangunan bandar udara baru melalui beberapa tahapan dan keterlibatan instansi – instansi terkait untuk mendapatkan hasil akhir yang di harapkan. Bandar udara baru pada umumnya diberikan status sebagai bandar udara bukan pusat penyebaran dan ruang udaranya tidak dikendalikan. Penataan fasilitas bandar udara merupakan pekerjaan yang kompleks dan perlu mempertemukan kepentingan berbagai (*multi facet*), sehingga proses perencanaan fasilitas bandar udara benar- benar membutuhkan keahlian yang

kapabel, yang mampu menghasilkan produk perencanaan sesuai dengan kriteria – kriteria teknis di bidang kebandarudaraan yang berlaku secara internasional yang dibakukan oleh ICAO (*International Civil Aviation Organization*) dan merujuk kepada peraturan yang berlaku.

Bandar udara memiliki dua kegunaan yaitu fasilitas udara dan fasilitas darat (Djonli, Yusuf; Sjafrudin, 2012). Desain perencanaan ini berkembang dengan kemajuan teknologi yang berkembang pada jamannya. Fasilitas udara merupakan faktor paling penting dalam suatu bandara, karena disinilah sebenarnya pergerakan actual yang terjadi atau pesawat bergerak. Hal ini berpengaruh pada jenis dan tipe pesawat yang menggunakan fasilitas bandar udara, dan sangat berpengaruh terhadap jenis dan ketebalan suatu perkerasan bandar udara (Abdessemed et al., 2015). Struktur perkerasan berbeda dengan struktur – struktur perkerasan pada perkerasan jalan raya ataupun jalan pada umumnya (Xie et al., 2021). Metode yang biasanya digunakan dalam menentukan desain tebal lapis perkerasan fasilitas sisi udara adalah metode *US corporation of enginners* atau lebih dikenal dengan metode *California Bearing Ratio* (CBR) dan metode FAA (*Federal Aviation Administration*) yang di bentuk oleh Lembaga Amerika Serikat berfungsi untuk membuat regulasi hal – hal yang berhubungan dengan penerbangan dan navigasi di Amerika (FAA Airport Engineering Division, 2021).

FAA mengeluarkan peraturan perhitungan struktur perkerasan bandar udara yaitu AC (*Advisory Circular*) 150_5320_6D yang pada dasarnya sama dengan metode CBR. Pada tahun 2021 FAA mengeluarkan standar perhitungan struktur perkerasan bandar udara yaitu AC (*Advisory Circular*) 150_5320_6G yang menggunakan program bantu FAARFIELD 2.0.7 (*Federal Aviation Administration Rigid and Flexible Iterative Elastic Layer Design*). Kedua perhitungan struktur perkerasan ini sangat berbeda prosedur perhitungannya, pada metode grafis digunakan pesawat-pesawat yang beroperasi di suatu bandar udara harus di konversi menjadi pesawat desain. Sedangkan metode dengan program bantu semua jenis pesawat yang beroperasi dihitung pengaruhnya terhadap kerusakan perkerasan untuk menentukan tebal perkerasan yang bisa menerima total beban pergerakan pesawat. Perbedaan tersebut menjadi dasar penulis melakukan penelitian ini.

Studi kasus yang di pilih adalah Bandar udara Kolaka Utara, berdasarkan letak geografis, topografi, geologi, hidrologi, oceanografi, kondisi iklim begitu juga kondisi sosial ekonomi dan budaya masyarakat lokal, daerah Kabupaten Kolaka Utara merupakan daerah yang sangat menguntungkan dalam berbagai kegiatan perekonomian, terutama pada sektor pertanian dalam arti luas, pertambangan, perikanan dan kelautan (Kementerian Perhubungan Republik Indonesia, 2014) dan (Kementrian Perhubungan, 2019). Berdasarkan kondisi empiris tersebut, diharapkan dapat menjadikan daerah yang maju dan mandiri melalui berbagai upaya percepatan pembangunan dengan menempatkan pembangunan ekonomi sebagai lading sektor.

1.2. Rumusan Masalah

Dari perbedaan desain beban pesawat yang dihitung atau perbedaan mendasar maka perlu dianalisis hasil tebal perkerasan dari kedua metode tersebut. Karena perencanaan perkerasan bandara di Indonesia mengacu pada aturan FAA. Permasalahan dalam penelitian ini adalah perbedaan parameter – parameter dan tebal hasil perhitungan maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan yaitu:

1. Variabel apa saja yang tidak sama pada masing - masing metode perkerasan bandar udara?
2. Bagaimana hasil perhitungan tebal lapis dengan metode *US corporation of enginners*?
3. Bagaimana hasil perhitungan tebal lapis dengan metode *FAA AC (Advisory Circular) 150_5320_6G* dengan menggunakan Program bantu?
4. Berapa persen perbedaan hasil perhitungan tebal perkerasan dari kedua metode?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat mengetahui perbedaan variabel dan signifikansi kedua metode perhitungan tebal perkerasan.
2. Dapat menghitung tebal perkerasan bandar udara dengan menggunakan metode *US corporation of enginners*.
3. Dapat menghitung tebal perkerasan bandar udara dengan menggunakan metode *FAA AC (Advisory Circular) 150_5320_6G*.

4. Dapat mengetahui signifikansi perbedaan yang terjadi dari hasil perencanaan dengan kedua metode tersebut. Nilai signifikansi dinyatakan dalam persen.

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah dimaksudkan untuk memberikan gambaran kondisi analisis penelitian dalam mencapai tujuan penelitian agar parameter tujuan penelitian terjawab.

Parameter tersebut adalah:

1. Permasalahan dalam penelitian ini dilakukan pada Bandar Udara Kolaka Utara, Sulawesi Tenggara.
2. Tebal perkerasan yang didesain adalah tebal perkerasan baru, tidak menganalisa overlay ataupun perpanjangan landas pacu.
3. Metode perhitungan berdasarkan standar FAA (*Federal Aviation Administration*) Program bantu dan *US corporation of enginners* grafis.
4. Tidak menganalisa anggaran biaya.
5. Pesawat rencana diperoleh dari Master Plan bandar udara Kolaka Utara.
6. Tidak memperhitungkan karakteristik material.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapatkan pada penelitian ini yaitu, dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan tentang perencanaan tebal lapis perkerasan bandar udara baik cara grafis maupun cara dengan bantuan Program bantu serta dapat sebagai bahan rujukan dalam pemilihan metode desain perkerasan bandar udara.

1.6. Sitematika Penulisan

Dalam penulisan penelitian ini diuraikan dalam beberapa bagian antara lain sebagai berikut:

1. Bab I Pendahuluan

Pendahuluan berisi mengenai latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, sistematika penulisan serta lokasi penelitian.

2. Bab II Tinjauan Pustaka

Pada bagian bab tinjauan Pustaka di uraikan referensi sebagai landasan teori yang dibuat sebagai acuan dalam perhitungan dan yang terkait dengan topik penelitian.

3. BAB III Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian menjelaskan tahapan penelitian untuk mendesain tebal perkerasan bandar udara dan di sajikan dalam diagram alir serta tahapan perhitungan.

4. BAB IV Hasil dan Pembahasan

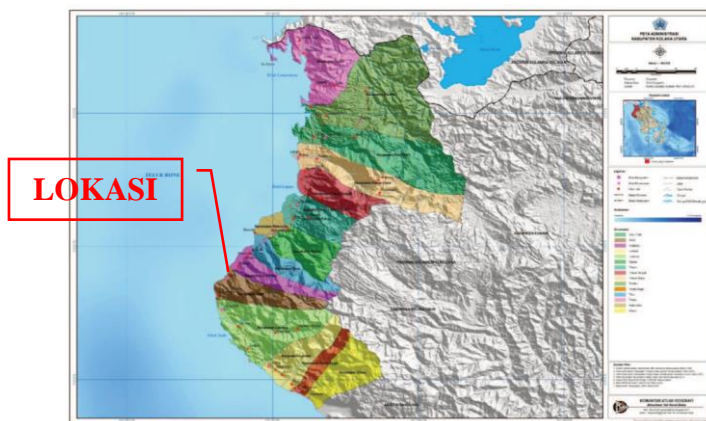
Pada bab ini adalah perhitungan desain tebal lapis perkerasan bandar udara dengan menggunakan metode *US corporation of enginners* grafis dan FAA (*Federal Aviation Administrarion*) Program bantu, serta menganalisa hasil perbedaan hasil dari kedua metode tersebut.

5. BAB V Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan berisikan tentang hasil penelitian ini sesuai dengan tujuan penelitian dari hasil pembahasan. Saran berisikan tentang saran agar penelitian setelahnya lebih baik.

1.7. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian terletak di Daerah Kabupaten Kolaka Utara merupakan daerah yang berada di daratan tenggara Pulau Sulawesi dan Secara Geografis terletak pada bagian barat. Kabupaten Kolaka Utara memanjang dari utara ke selatan berada diantara $2^{\circ} 46' 45''$ - $3^{\circ} 50' 5''$ Lintang Selatan dan membentang dari barat ke timur diantara $120^{\circ} 41' 16''$ - $121^{\circ} 26' 31''$ Bujur Timur. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada **Gambar 1.**



Gambar 1.1. Peta Lokasi Kabupaten Kolaka Utara

<https://petatematikindo.wordpress.com/2013/02/03/administrasi-kabupaten-kolaka-utara/>, diakses 28 April 2022)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Umum

Perkerasan adalah struktur yang terdiri dari beberapa lapisan dengan daya dukung yang berbeda. Lapis perkerasan menurut (FAA Airport Engineering Division, 2021) di bagi menjadi 3 (tiga) yaitu perkerasan lentur (*Flexible*), kaku (*Portland Cement Concrete*) dan Komposit antara aspal dan rigid.

Perkerasan lentur adalah perkerasan yang setiap lapisan strukturnya ditopang oleh lapisan di bawahnya dan pada akhirnya ditopang oleh tanah dasar. Biasanya, permukaan jalan untuk perkerasan lentur adalah campuran aspal, Item P-401. Sedangkan perkerasan kaku adalah perkerasan dimana tahanan beban utama disediakan oleh lapisan beton permukaan. Biasanya, jalur permukaan untuk perkerasan kaku adalah perkerasan beton semen, Item P-501. Struktur perkerasan terdiri dari lapis permukaan (*surface course*), lapis pondasi atas (*base course*), lapis pondasi bawah (*subbase course*), dan lapisan tanah dasar (*subgrade*) seperti yang diilustrasikan pada **Gambar 2.1** untuk perkerasan lentur dan **Gambar 2.2** adalah untuk perkerasan kaku.

Fungsi utamanya adalah memberikan permukaan yang rata agar lalu lintas pesawat menjadi aman dan nyaman. Fungsi perkerasan digunakan sebagai pemikul beban yang bekerja di atasnya dan meneruskan beban ke lapisan dibawahnya atau biasanya disebut (*Surface Course*). Lapis pondasi atas (*base course*) dapat terdiri dari material berbutir kasar dengan bahan pengikat misalnya dengan aspal, semen atau tanpa bahan pengikat, tetapi menggunakan bahan penguat misalnya kapur. Lapis pondasi bawah (*subbase course*) dapat terdiri dari batu alam yang dipecahkan terlebih dahulu atau yang alami. Lapis pondasi bawah dapat juga terdiri dari bahan sirtu (batu pasir) yang diproses terlebih dahulu atau bahan yang dipilih dari hasil pekerjaan galian di lokasi (Long et al., 2018). Lapisan tanah dasar (*subgrade*) semakin besar kemampuan tanah dasar untuk memikul beban, maka tebal perkerasan yang dibutuhkan semakin kecil. Karena struktur perkerasan didukung sepenuhnya oleh tanah dasar, maka identifikasi serta evaluasi terhadap struktur dan karakteristik tanah dasar sangat penting bagi perencanaan tebal lapis perkerasan bandar udara.

Perencanaan perkerasan bandar udara, memiliki konsep dasar sama dengan perkerasan jalan raya, dimana perencanaan tebal lapis perkerasan berdasarkan beban yang bekerja serta material yang digunakan untuk mendukung beban yang bekerja. Namun pengaplikasiannya ada beberapa perbedaan yaitu sebagai berikut:

1. Jalan raya dirancang untuk kendaraan yang berbobot kurang lebih 9.000 lbs, sedangkan perkerasan bandar udara dirancang memikul beban pesawat yang berbobot kurang lebih 100.000 lbs.
2. Jalan raya direncanakan mampu melayani perulangan beban (repetisi) 1000 – 2000 truk per hari, sedangkan perkerasan bandar udara direncanakan untuk repetisi beban 20.000 sampai dengan 40.000 kali selama umur rencana perkerasan.
3. Tekanan ban pada kendaraan yang bekerja kira – kira 80 – 90 Psi, sedangkan pada bandar udara lebih besar sekitar 400 Psi.
4. Perkerasan jalan raya mengalami tegangan yang lebih besar karena beban bekerja lebih dekat ke tepi lapisan, berbeda pada landas pacu dimana beban bekerja di bagian tengah perkerasan.

Jenis perkerasan landas pacu yang digunakan dalam penelitian ini adalah perkerasan lentur. Untuk menentukan pemilihan jenis perkerasan lentur harus memperhatikan, jenis pesawat yang beroperasi, beban pesawat, volume lalu lintas serta kondisi lingkungan bandar udara.

2.2. Jenis dan Bahan Perkerasan

Jenis dan bahan dari suatu perkerasan ada dua yaitu perkerasan lentur dan perkerasan kaku. Perkerasan lentur adalah suatu perkerasan yang mempunyai sifat elastis (Ma et al., 2019). Struktur perkerasan lentur didukung sepenuhnya oleh tanah dasar lapisan penutup melindungi lapis pondasi atas dari gaya angkat air (*creep line*), 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 sebagai berikut:

- a. 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 landas pacu. Untuk menentukan daya dukung tanah dasar dengan cara CBR (*California Bearing Ratio*), MR (*Resilient Modulus*), dan K (*Modulus Reaksi Tanah Dasar*). Daya dukung tanah dasar yang digunakan di Indonesia untuk kebutuhan desain tebal lapis perkerasan landas pacu, taxiway ataupun apron dengan menggunakan pemeriksaan CBR. Penentuan daya dukung tanah dasar berdasarkan evaluasi hasil pemeriksaan karakteristik tanah, serta sifat – sifat daya dukung tanah dasar sepanjang suatu bagian perkerasan. Koreksi – koreksi perlu dilakukan baik dalam tahap perencanaan detail maupun tahap pelaksanaan, disesuaikan dengan kondisi aktual di lapangan. Koreksi ini diberikan pada gambar rencana atau spesifikasi pelaksanaan. Umumnya persoalan yang menyangkut tanah dasar sebagai berikut:

1. Perubahan bentuk tetap (deformasi permanen) dari macam tanah tertentu akibat beban lalu lintas.
2. Sifat mengembang dan menyusut dari tanah tertentu akibat perubahan kadar air.
3. Daya dukung tanah yang tidak merata dan sukar ditentukan secara pasti pada daerah dengan jenis tanah yang sangat berbeda sifat dan kedudukannya, atau akibat perkerasannya.
4. Lendutan selama dan sesudah pembebanan lalu lintas dari macam tanah tertentu.
5. Tambahan pemadatan akibat pembebanan lalu lintas dan penurunan yang diakibatkannya, yaitu pada tanah berbutir kasar yang tidak dipadatkan secara baik pada pelaksanaannya.

Tanah dasar mendapatkan tegangan paling kecil dibanding lapisan permukaan, lapisan pondasi atas dan lapisan pondasi bawah. Profil tanah adalah susunan vertical yang menunjukkan sifat fisik yang berbeda dan mengakibatkan tegangan yang berbeda sesuai dengan karakteristik tanah. Tegangan di lapis tanah dasar dikontrol pada bagian atas tanah dasar, kecuali jika kondisi tanah kembang susut atau butuh perbaikan tanah. Kemampuan partikel tanah untuk menahan regangan dan penurunan bervariasi

menurut kepadatan tanah dan kadar air. DCP atau *Dynamic Cone Penetrometer* adalah alat yang digunakan untuk mengukur daya dukung tanah dasar langsung di tempat. Daya dukung tanah dasar tersebut diperhitungkan berdasarkan pengolahan hasil test DCP yang dilakukan dengan cara mengukur berapa dalam (mm) ujung konus masuk kedalam tanah dasar tersebut setelah mendapat tumbukan palu geser pada landasan batang utamanya, korelasi antara banyaknya tumbukan dan penetrasi ujung konus dari alat DCP ke dalam tanah akan memberikan gambaran kekuatan tanah dasar pada titik – titik tertentu. Makin dalam konus yang masuk untuk setiap tumbukan artinya makin lunak tanah dasar tersebut. Pengujian DCP menghasilkan data yang setelah diolah akan menghasilkan CBR lapangan tanah dasar pada titik yang ditinjau.

b. 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 Gu et al., (2022) dan White, (2019) fungsi lapisan pondasi bawah adalah sebagai berikut:

1. Bagian dari konstruksi perkerasan yang telah mendukung dan menyebarkan beban roda ke tanah dasar.
2. Mencapai efisiensi penggunaan material yang murah agar lapisan – lapisan selebihnya dapat dikurangi tebalnya atau bisa dikatakan efisiensi biaya konstruksi perkerasan.
3. Untuk mencegah tanah dasar masuk kedalam lapis pondasi atas.

c. Lapisan Pondasi Atas (*Base Course*)

Lapisan pondasi atas adalah bagian dari perkerasan landas pacu yang terletak diantara lapisan pondasi bawah dan lapis permukaan atau biasanya disebut dengan lapis binder. Fungsi dari pondasi atas adalah sebagai berikut:

1. Bagian perkerasan yang menahan gaya lintang dari beban roda dan menyebarkan beban lapis dibawahnya.
2. Lapisan peresapan untuk lapisan pondasi bawah (*Sub Base Course*).
3. Bantalan terhadap lapisan pondasi bawah serta meneruskan beban dari lapisan permukaan ke lapisan pondasi bawah.

d. Lapisan Permukaan (*Surface Course*)

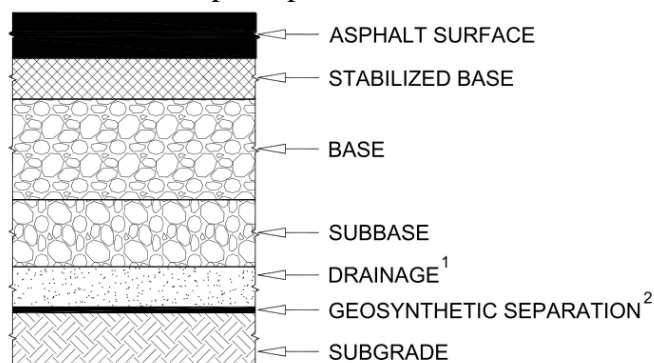
Lapisan permukaan adalah lapisan paling atas dan biasanya bersifat flexibel (aspal) dan kaku (beton) yang fungsinya adalah sebagai berikut:

1. Lapisan perkerasan penahan beban roda, lapisan yang mempunyai stabilitas yang tinggi untuk menahan roda selama masa layan atau masa rencana.
2. Lapisan perkerasan ini adalah kedap air, sehingga air hujan yang jatuh tidak meresap kelapisan dibawahnya.
3. Lapisan aus, lapisan yang menderita gesekan akibat rem kendaraan sehingga mudah menjadi aus.
4. Lapisan permukaan berfungsi 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 memberikan tegangan tarik atau lebih elastis maka dapat memperbesar daya dukung lapisan terhadap beban terhadap beban roda lalu lintas. Pemilihan bahan dipertimbangkan untuk menumpu beban sesuai umur rencana.

2.3. Perkerasan Lentur

Perkerasan lentur terdiri dari lapis permukaan *hot mix asphalt* diatas lapisan pondasi (*base course*) dan jika diperlukan akibat kondisi tanah dasar diatas lapisan pondasi bawah (*subbase Course*). Keseluruhan susunan struktur perkerasan tersebut sepenuhnya didukung oleh tanah dasar (*subgrade*). Definisi atas fungsi masing – masing lapisan perkerasan lentur dapat diuraikan sebagai berikut dan dapat dilihat pada **Gambar 2.1**

Gambar 2.1. Lapisan perkerasan lentur



(Sumber: FAA Airport Engineering Division, 2021)

Catatan:

¹ Lokasi dan kebutuhan lapisan drainage sesuai rekomendasi dari ahli tanah dan mengacu pada peraturan.

² Ketika ada rekomendasi dari ahli geoteknik

a. Lapis permukaan (*Surface Course*)

Untuk lapisan permukaan digunakan item P-401 / P-403 HMA (*Hot Mix Asphalt*) Item ini terdiri dari agregat mineral dan material aspal yang dicampur di dalam satu *central mixing plant*. Pencampuran yang dilakukan harus sesuai dengan spesifikasi yang disyaratkan. Adapun materi yang digunakan adalah agregat, mineral pengisi dan material aspal. Untuk maksimal berat yang di syaratkan adalah sebagai berikut:

1. < 60.000 lbs / 27.215 Kg = 3 in / 75 mm
2. < 100.000 lbs / 45.360 Kg = 4 in / 100 mm
3. > 100.000 lbs / 45.360 Kg = 5 in / 125 mm

P-403 HMA digunakan jika pesawat rencana kurang dari 60.000 lbs (27.215 Kg), *Hot mix Asphalt* tipe P-404 digunakan untuk mengganti bagian atas 1 ½ - 3 Inchi dari P-401 atau P-403 dimana permukaan tahan bahan bakar diperlukan. Secara structural P-404 dianggap sama dengan P-401.

b. Lapis pondasi atas (*Base Course*)

Lapis pondasi atas terdiri dari material berbutir dengan bahan pengikat misalnya semen dengan Portland atau aspal, atau bahan pengikat. Spesifikasi terkait dengan komponen, gradasi, dan persiapan berbagai material pondasi yang digunakan di bandara untuk beban lebih dari 60.000 lbs atau 27.215 Kg adalah sebagai berikut:

1. Item P-209 - (*Crushed Aggregate Base Course*)
2. Item P-211 - (*Lime Rock Base Course*)
Dengan stabilized
3. Item P-304 - (*Cement Treated Base Course*)
4. Item P-306 - (*Econocrete Subbase Course*)

Penggunaan jenis P-209, sebagai material pondasi atas untuk perkerasan yang didesain menumpu beban pesawat 100.000 lbs (45.359 Kg) dengan ketebalan 6 inci (150 mm).

c. Lapis pondasi bawah (*Sub Base Course*)

Lapis pondasi bawah terdiri dari bahan batu pecah buatan ataupun alamiah. Spesifikasi terkait dengan kualitas komponen, gradasi, dan persiapan. Adalah sebagai berikut:

Untuk beban kotor rencana 60.000 lbs (27.215 Kg) adalah sebagai berikut:

1. Item P-208 - (*Agregate Base Course*)
2. Item P-210 - (*Caliche Base Course*)
3. Item P-212 - (*Shell Base Course*)
4. Item P-213 - (*Sand Clay Base Course*)
5. Item P-207
6. Item P-219

Item P-207 dan P-219 diperlukan pengujian laboratorium untuk menentukan apakah dapat berfungsi sebagai Lapis Pondasi Bawah. Jika nilai CBR > 100 dapat digunakan untuk kestabilan, jika CBR > 80 material dapat digunakan sebagai pondasi atas (P-209), jika CBR > 60 sebagai pengganti P-208, kedua material tersebut dapat digunakan sebagai subbase yang distabilkan.

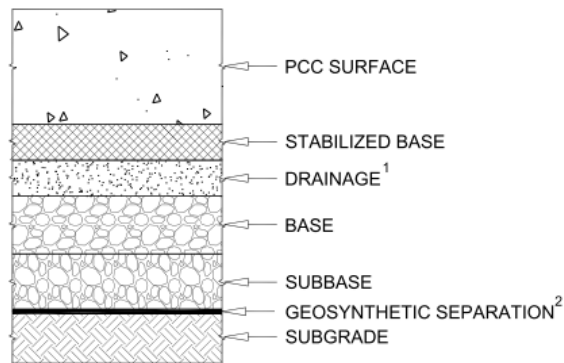
7. Item P-154 - (*Subbase Course*)
8. Item P-301 - (*Soil Cement Base Course*)

d. Tanah dasar (*Sub Grade*)

Tanah dasar minimal mempunyai nilai CBR 5% (Modulus elastisitasnya sekitar 7.500 Psi), direkomendasikan untuk meningkatkan tanah dasar secara kimia, mekanis atau dengan penggantian dengan bahan tanah yang sesuai.

2.4. Perkerasan Kaku

Perkerasan kaku adalah perkerasan yang menggunakan bahan ikat semen yang sifatnya kaku. Perkerasan kaku berupa plat beton dengan atau tanpa tulangan lentur dan geser diatas tanah dasar atau dengan tanpa pondasi. Beban lalu lintas diteruskan keatas plat beton. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada **Gambar 2.2** dibawah.



Gambar 2.2. Lapisan perkerasan kaku

(Sumber: FAA Airport Engineering Division, 2021)

2.5. Karakteristik Pesawat

Pertama yang harus dilakukan sebelum mendesain struktur suatu perkerasan lapangan terbang, dibutuhkan pengetahuan karakteristik pesawat terbang secara umum untuk memahami beban yang bekerja pada perkerasan tersebut. Yaitu kondisi fisik suatu pesawat, berat pesawat, jenis pesawat. Perencanaan sisi udara suatu bandar udara menurut (Qu et al., 2017) dipengaruhi oleh karakteristik suatu pesawat yang akan di gunakan atau beroperasi pada bandar udara tersebut. Faktor yang dianalisa untuk mengetahui karakteristik dari pesawat yang diperhatikan terkait dengan kondisi letak bandara seperti arah dan kecepatan landas pacu, suhu / temperature, ketinggian/elevasi maupun kemiringan medan yang ada. Berikut adalah beberapa karakteristik utama untuk sebuah pesawat terbang yaitu:

1. Ukuran (*Size*)

Ukuran pesawat menentukan lebar landas pacu (*runway*), dan pelataran parkir pesawat (*apron*)

2. Berat (*Weight*)

Berat dari pesawat terbang berpengaruh pada table perkerasan landas pacu, landas penghubung, dan pelataran parkir yang akan di rencanakan

3. Kapasitas

Kapasitas penumpang mempengaruhi perencanaan fasilitas sisi darat bandara seperti fasilitas – fasilitas yang ada dakam Gedung terminal.

4. Kebutuhan panjang landas pacu (*runway*)

Kebutuhan panjang landas pacu berpengaruh pada luas tanah yang dibutuhkan agar runway dapat melayani pesawat rencana. Karakteristik dari pesawat terbang yang memiliki hubungan dengan perancangan tebal lapis perkerasan fasilitas sisi udara antara lain beban pesawat dan konfigurasi beban roda utama pesawat.

2.5.1. Beban Pesawat

Beban pesawat di golongan menjadi beberapa kondisi yang berhubungan dengan pengoperasiannya yaitu:

1. Beban kosong operasi (*Operating Weight Empty*)
Adalah berat dasar suatu pesawat yang sudah termasuk awak dan peralatan pesawat tetapi tidak termasuk berat dari bahan bakar pesawat maupun penumpang dan suatu ataupun barang yang dikenai biaya untuk mengangkutnya.
2. Muatan berbayar (*Pay Load*)
Adalah muatan (barang / penumpang) yang diperbolehkan untuk diangkut kedalam pesawat sesuai persyaratan yang dikenai biaya dan bisa menghasilkan pendapatan bagi perusahaan.
3. Berat bahan kosong (*Zero Fuel Weight*)
Adalah suatu Batasan berat yang sesuai dengan spesifikasi setiap jenis pesawat termasuk tambahan berat bahan bakar, sehingga pada saat pesawat terbang tidak terjadi momen lentur yang berlebihan pada sambungan.
4. Beban ramp maksimum (*Maximum Ramp Weight*)
Beban maksimum pesawat yang diizinkan pada saat melakukan pergerakan / berjalan dari apron menuju pangkal landas pacu, dan terjadi pembakaran bahan bakar yang menyebabkan kehilangan berat pada pesawat tersebut.
5. Berat maksimum pendaratan (*Maksimum Structural Landing Weight*)
Adalah beban maksimum saat roda pendaratan / main gear utamanya menyentuh lapisan perkerasan sesuai dengan bobot pesawat.
6. Berat maksimum lepas landas (*Maximum Structural Take Off Weight*)
Adalah beban maksimum pada saat pesawat terbang melakukan lepas landas sesuai dengan bobot pesawat termasuk awak / crew, berat kosong, bahan bakar, muatan berbayar yang sudah diizinkan oleh pabrik.

2.5.2. Kondisi Fisik Pesawat

Istilah yang ada di dalam suatu pesawat terbang, diantaranya adalah:

1. *Wingspan*

Wingspan adalah panjang bentang sayap utama dari kiri ke kanan yang berguna untuk menentukan daerah bebas di kanan dan kiri lintasan. Setiap pesawat untuk menentukan daerah bebas di kanan dan kiri lintasan. Setiap pesawat memiliki panjang *Wingspan* yang berbeda – beda tergantung jenis dan ukuran pesawatnya.

2. *Outer Main Gear Wheel Spam* (OMGWS)

Outer Main Gear Wheel Spam adalah jarak antara roda utama bagian kanan dan kiri pesawat. Besarnya *Outer Main Gear Wheel Spam* dalam perencanaan bandar udara dipakai untuk menghitung lebar lintasan.

3. *Wheel Base*

Wheel Base adalah jarak antara roda depan dengan roda belakang pesawat yang mempengaruhi tekanan pada struktur perkerasan landas pacu.



4. *Fuselage Length*





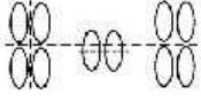
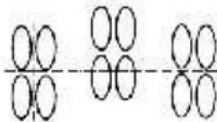
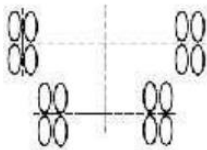
Fuselage Length adalah panjang pesawat dari ujung depan pesawat hingga ekor pesawat. Dalam perencanaan berguna menentukan belokan.

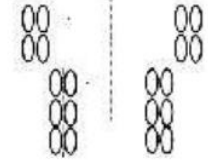
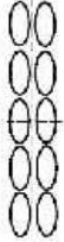
5. Konfigurasi roda pesawat

Konfigurasi roda pendaratan menunjukkan jumlah roda pesawat yang dimiliki oleh pesawat serta letaknya yang berpengaruh menjadi distribusi beban ke landasan pacu. Adapun konfigurasi roda pesawat dapat dilihat di **Tabel 2.1** dibawah ini.

Tabel 2.1. Konfigurasi sumbu pesawat

Tanda Konfigurasi	Simbol Konfigurasi	Contoh Pesawat
S	 Single	Single Wheel -45
D	 Dual	B737 - 100

2S	 <p>2 Singles in tandem</p>	C-130
2D	 <p>2 Duals in Tandem</p>	B767-200
3D	 <p>2 Duals in Tandem</p>	B777-200
2T	 <p>Two Triple Wheels in Tandem</p>	C-17A
2D/D1	 <p>Two Dual Wheels in Tandem main gear/Dual Wheel Body Gear</p>	DC10-30/40
2D/2D1	 <p>2D/2D1 Two Dual Wheels in Tandem Main Gear/Two Dual Wheels in tandem Body Gear</p>	A340-600 std
2D/2D2	 <p>Two Dual Wheels In Tandem Main Gear/Two Dual in Tandem Body Gear</p>	B737-400

2D/3D2	 <p data-bbox="564 421 791 573">Two Dual Wheels in tandem Main Gear/Three Dual Wheels in Tandem Body Gear</p>	A380-800
5D	 <p data-bbox="564 853 791 909">Five Dual Wheels in Tandem Main Gear</p>	An-124

(Sumber: FAA Airport Engineering Division, 2021)

2.6. Metode Perancangan Tebal Perkerasan Bandara

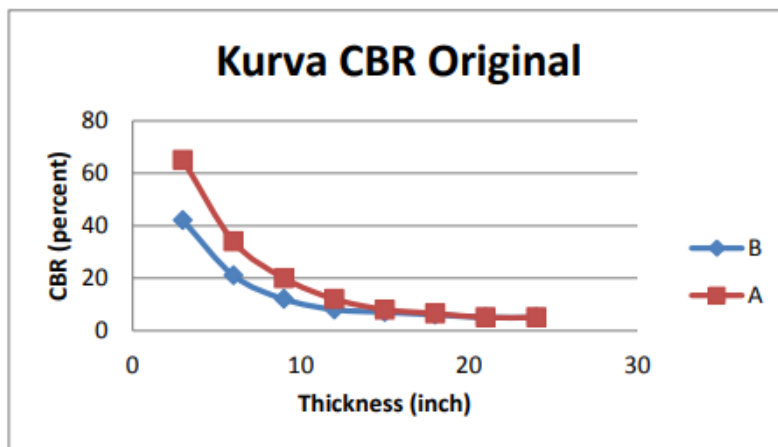
Pada penelitian ini digunakan cara perhitungan tebal perkerasan menggunakan 2 (dua) metode yaitu Metode *Corps of Engineers* (Metode CBR) dan Metode *Federal Aviation Administration* (FAA). Perkerasan adalah suatu struktur yang tersusun dari beberapa lapisan dengan kekerasan yang berbeda dan daya dukung yang berbeda pula. Terdapat 2 jenis tipe perkerasan, yang pertama adalah perkerasan flexible yang dibuat dari campuran aspal dengan agregat dan dihamparkan diatas permukaan material granular yang bermutu tinggi. Sedangkan yang kedua adalah perkerasan kaku/rigid yang dibuat menggunakan slab beton (*Portland Cement Concrete*). Perkerasan memiliki fungsi sebagai tumpuan rata – rata, permukaan yang rata menyebabkan pesawat bisa berjalan dengan nyaman. Perencanaan struktural dalam perencanaan bandar udara adalah menentukan tebal lapisan – lapisan perkerasan lentur (*Flexible*).

2.6.1. Metode *Corps of Engineers* (Metode CBR) atau Cara Grafis

Pada awal perang dunia yang kedua, persatuan insinyur Amerika (*Corps of Engineers*) melakukan suatu survey yang luas menyangkut metode perencanaan perkerasan lentur. Sebagai hasil penyelidikan, metode CBR diadopsi. Ketebalan dari elemen yang berbeda berisikan suatu perkerasan yang ditentukan oleh nilai CBR.

Metode tersebut mempunyai beberapa kerugian dan keuntungan. Salah satu keuntungannya adalah menjadi sederhana dengan perencanaan tes dapat dilakukan, hanya suatu kerugian prosedur bahwa tes adalah data empiris dan oleh karenanya, desain didasarkan korelasi. CBR tes adalah suatu pengujian penetrasi yang dinyatakan sebagai persen dari perlawanan penetrasi untuk suatu nilai standar terhadap batu pecah. Tes akan sah hanya ketika porsi utama penetrasi dari piston disebabkan oleh deformasi geser. Walaupun CBR mungkin bernilai suatu persen dari suatu beban standar, tapi dalam nilai CBR pada penetrasi 0,1 inch digunakan keperluan perencanaan. Namun untuk rasio penetrasi dapat digunakan 0,2 inch dan nilai itu juga dapat digunakan.

Sejak tahun 1940 persatuan insinyur amerika telah mengadopsi metode CBR untuk perkerasan bandar udara. Telah di asumsikan bahwa suatu pesawat udara mempunyai berat pada suatu roda pendarat 12.000 lbs yang ditunjukkan pada kurva A, dan kurva B mempunyai berat 7.000 lbs, dapat dilihat pada **Gambar 2.3**.



Gambar 2.3. Kurva CBR Original

(Sumber : Djonli, Yusuf; Sjafrudin, 2012)

Kurva diatas menjelaskan bahwa ketika tebal lapis perkerasan semakin tebal, nilai CBR yang diberikan akan mendekati, dan sama dengan. Studi CBR pada tahun 1956 memberikan indikasi bahwa hubungan antara table perkerasan lentur dengan beban roda pesawat dan tekanan roda pesawat adalah seperti berikut:

Dimana,

$$t = \sqrt{P \left[\frac{1}{8,1 CBR} - \frac{1}{p\pi} \right]}$$

- t = Tebal perkerasan lentur (inch)
P = Beban roda pendarat pesawat
CBR = California Bearing Ratio tanah dasar (%)
p = Tekanan ban roda pendarat pesawat
phi = 3,14 / 22/7

Penelitian lebih lanjut mengizinkan suatu penyesuaian tebal perkerasan yang dibuat untuk memperhitungkan pergerakan lalu lintas. Hubungan tersebut dapat ditunjukkan pada rumus dibawah ini:

$$t = \frac{23,1 \log C}{100} \sqrt{P \left[\frac{1}{8,1 CBR} - \frac{1}{p\pi} \right]}$$

Dimana,

- t = Tebal perkerasan lentur (inch)
C = Jumlah *traffic* yang melewati bandara
P = Beban roda pendarat pesawat
CBR = California Bearing Ratio tanah dasar (%)
p = Tekanan ban roda pendarat pesawat
phi = 3,14 / 22/7

Kedua persamaan tersebut, dapat dipakai untuk nilai CBR antara 10 – 12%. Penelitian lebih lanjut terkait dengan hubungan beban roda pendarat yang berat, menemukan rumus baru dalam desain yaitu sebagai berikut:

$$t = \alpha_i \left[A^{0,5} \left[0,0481 - 1,1562 \left(\log \frac{CBR}{P_e} \right) - 0,6414 \left(\log \frac{CBR}{P_e} \right)^2 - 0,4730 \left(\log \frac{CBR}{P_e} \right)^3 \right] \right]$$

Dimana,

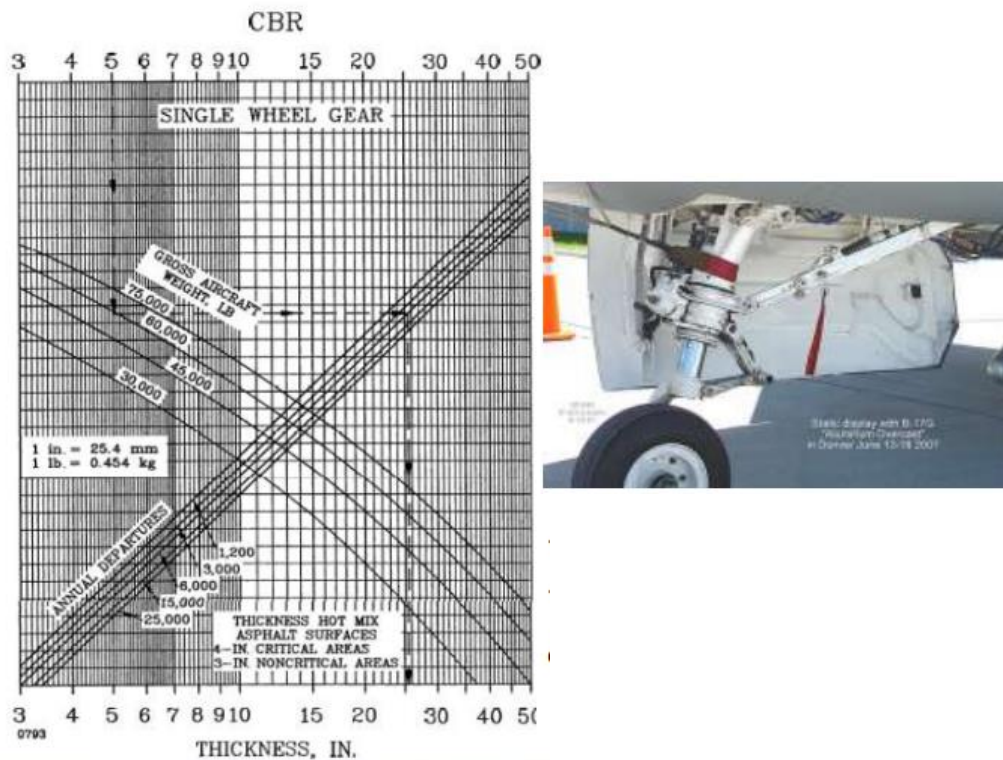
- t = Tebal perkerasan lentur (inchi)
α = Factor repitisi (pengulangan) beban
A = Luas bidang kontak
CBR = California Bearing Rasio tanah dasar (%)
P_e = Tekanan ban pendarat pesawat yang digunakan untuk perhitungan ESWL

Penelitian diteruskan oleh FAA dapat menunjukkan perkerasan total yang dibutuhkan. Adapun tebal total perkerasan terdiri dari tebal pondasi bawah, tebal

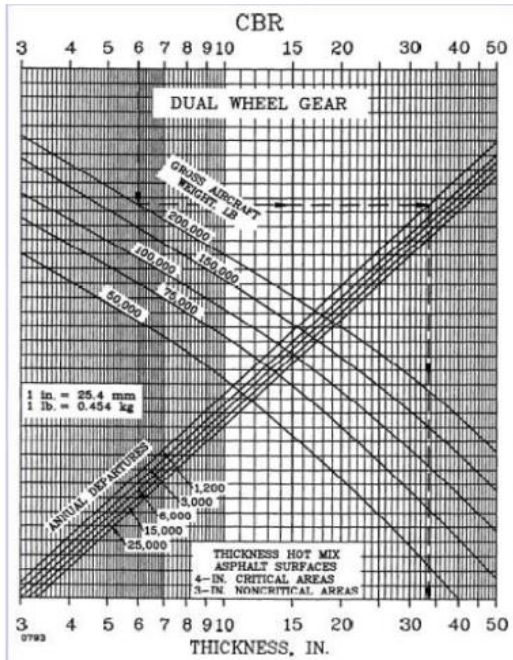
pondasi atas dan lapis permukaan. Nilai CBR tanah dasar digunakan bersama – sama dengan berat take of kotor dan keberangkatan tahunan ekuivalen dari pesawat rencana. Beban lalu lintas pesawat pada umumnya akan disebarakan pada daerah lateral dari permukaan selama operasional. Demikian juga pada sebagian landasan pacu, pesawat akan meneruskan beban ke perkerasan, oleh karena itu FAA memperbolehkan perubahan tebal perkerasan pada permukaan yang berbeda yaitu:

1. Tebal penuh T pada seluruh daerah kritis, yang digunakan untuk tempat pesawat yang akan berangkat, seperti apron daerah tunggu (holding apron), bagian tengah landasan hubung dan landasan pacu.
2. Tebal perkerasan 0,9 T diperlukan untuk jalur pesawat yang akan datang, seperti belokan landasan pacu berkecepatan tinggi.
3. Tebal perkerasan 0,7 T diperlukan untuk tempat yang jarang dilalui pesawat, seperti tepi luar landasan hubung dan tepi landasan pacu.

Kurva desain digunakan saat perencanaan dapat dilihat pada **Gambar 2.4.** – **Gambar 2.7.**

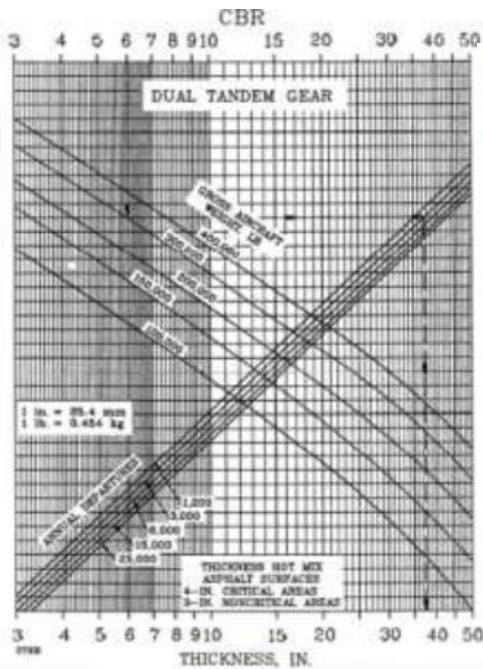


Gambar 2.4. Kurva pembebanan *Single Wheel*
(Sumber: *US Army Corps Engineer*)



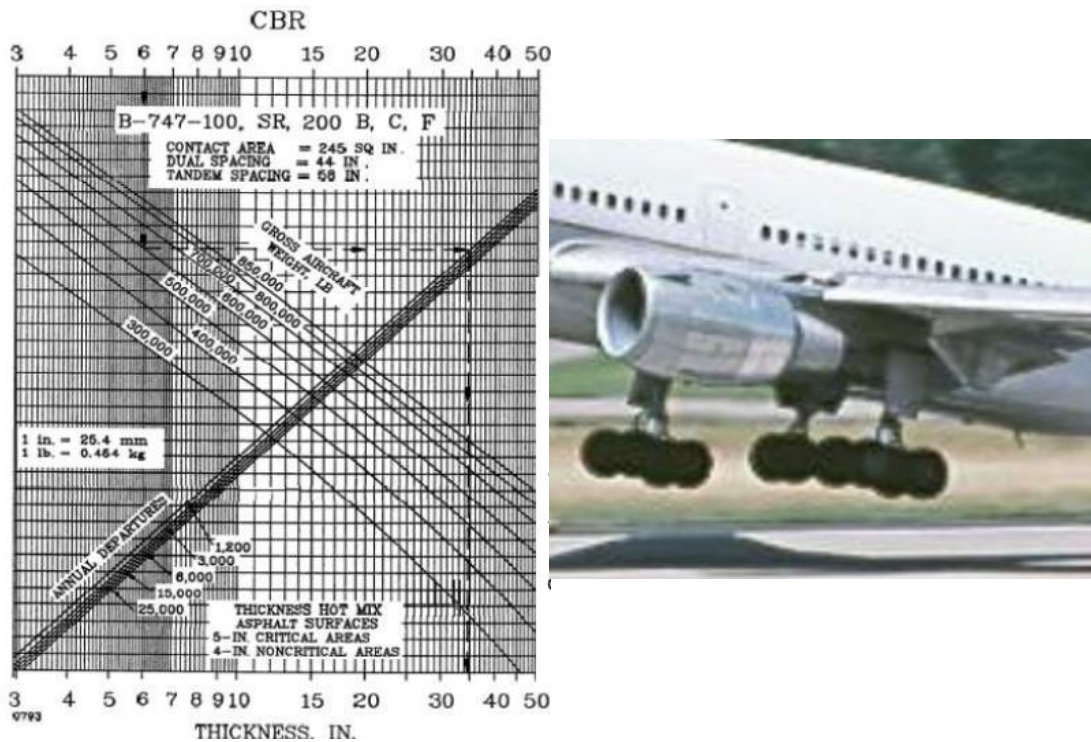
Gambar 2.5. Kurva pembebanan *Dual Wheel*

(Sumber: *US army Corps Engineer*)



Gambar 2.6. Kurva pembebanan *Dual Tandem*

(Sumber: *US army Corps Engineer*)



Gambar 2.7. Kurva pembebanan *Dual Doble Tandem*

(Sumber: *US army Corps Engineer*)

Penggunaan kurva – kurva diatas dengan cara menarik garis dari data – data yang di dapat, yaitu nilai CBR, data tipe pesawat yang akan memperngaruhi massa pesawat dan prediksi jumlah keberangkatan yang direncanakan. Dari ketiga data diatas akan dihubungkan dengan menarik garis dan dapat dilihat tebal perkerasan lapisan bandar udara.

Pada *Corps of Engineers* (CBR) direncanakan daerah lalu lintas lapangan terbang untuk beban sedang dengan karakteristik bahan seperti ditunjukkan pada **Tabel 2.2** dibawah ini:

Tabel 2.0-2 Sifat bahan

BAHAN	Test CBR (%)	Persen Lolos		LL (%)	PI (%)
		No.10	No.200		
Subgrade (Natural)	6			35	15
Subgrade (Compacted)	10			35	15
Subbase No 1	24	85	13	19	5
Subbase No 2	59	44	8	15	4

(Sumber: *US army Corps Engineer*)

Keterangan:

Base (kebutuhan untuk agregat batu pecah)

Surface (kebutuhan hot-mix asphaltic untuk permukaan)

Sementara kedalaman pemadatan tanah dasar adalah seperti di tunjukan pada **Tabel 2.3.** dibawah ini:

Tabel 2.3. Kedalaman Pemadatan (tanah kohesif)

Persen Pemadatan	100	95	90	85	80
Kedalaman Pemadatan (inch)	24	36	48	66	78

(Sumber: *US army Corps Engineer*)

Dalam menentukan desain tebal base dan permukaan ditentukan dari tiga kriteria yaitu: a) Desain beban berat, b) Desain beban sedang, c) Desain beban ringan.

Dibawah ini adalah spesifikasi dari berharap jenis desain berat ditampilkan pada **Tabel 2.4 – Tabel 2.6.**

Tabel 2.4. Desain beban berat

Tebal minimum (inch)						
Derah lalu - lintas	100 – CBR base			80 – CBR base		
	Perkerasan	Base	Total	Perkerasan	Base	Total
A	5	10	15	6	9	15
B	4	9	13	5	8	13
C	4	9	13	5	8	13
D	3	6	9	3	6	9
Jalan ke Apron	3	6	9	3	6	9
Bahu	2	6	8	2	6	8

(Sumber: *US army Corps Engineer*)

Tabel 2.5. Desain beban sedang

Tebal minimum (inch)						
Derah lalu - lintas	100 – CBR base			80 – CBR base		
	Perkerasan	Base	Total	Perkerasan	Base	Total
A	4	6	10	5	6	11
B	3	6	9	4	6	10
C	3	6	9	4	6	10
Jalan ke Apron	3	6	9	3	6	9

(Sumber: *US army Corps Engineer*)

Tabel 2.6. Desain beban ringan

Tebal minimum (inch)						
Derah lalu - lintas	100 – CBR base			80 – CBR base		
	Perkerasan	Base	Total	Perkerasan	Base	Total
B	3	6	9	4	6	10
C	3	6	9	3	6	9
Jalan ke Apron	3	6	9	4	6	10

(Sumber: *US army Corps Engineer*)

Untuk nilai desain CBR digunakan dua bahan subbase. Untuk subbase No.1 akan diterima sifat bahan desain maksimum CBR = 20% seperti ditunjukkan pada **Tabel 2.7.** Bagaimanapun karena tes yang nyata adalah CBR = 24% kurang dari nilai persyaratan, CBR yang diuji digunakan sebagai masukkan desain. Untuk subbase No.2 material terbaik dibutuhkan untuk CBR maksimum 50%, desain akhir yang digunakan adalah CBR = 50%.

Tabel 2.7. Desain keperluan subbase

Bahan	Maks. Desian CBR (%)	Ukuran (inchi)	Keperluan gradasi persen lolos		PI	LL
			No.10	No.200		
Subbase	50	3	50	15	25	5
Subbase	40	3	80	15	25	5
Subbase	30	3	100	15	25	5
Bahan pilihan	20	3*		25*	35*	12*

Catatan: * Batasan yang dipersyaratkan

(Sumber: *US army Corps Engineer*)

2.6.2. Metode FAA Perkerasan Lentur Cara Grafis

Metode perencanaan FAA yang dibahas pada penelitian ini adalah metode perencanaan yang mengacu pada standar perencanaan perkerasan FAA *Advisory Circular* (AC) No.150_5320_6D. Metode ini adalah pengembangan perencanaan berdasarkan metode CBR. Perencanaan konstruksi perkerasan dengan menggunakan grafik – grafik, tabel - tabel, yang telah di buat berdasarkan hasil pengamatan yang telah ada. Pada perhitungan dengan metode yang mengacu pada *Advisory Circular*

(AC) No.150_5320_6D, yang berisi hubungan keberangkatan tahunan desain, berat pesawat kotor, nilai CBR (*California Bearing Ratio*) dengan ketebalan lapisan perkerasan.

1. Klasifikasi Tanah

Metode yang dikembangkan oleh *Federal Aviation Administration* (FAA) ini pada dasarnya menggunakan statistik perbandingan kondisi lokal dari tanah, sistem drainase dan cara pembebanan untuk berbagai tingkah laku beban. FAA telah membuat klasifikasi tanah, untuk perencanaan perkerasan yang dibagi dalam 13 kelas dari E1 sampai E13. Klasifikasi dari *Airport Planning* FAA, *Advisory Circular* adalah sebagai berikut:

a. Kelas E1

Adalah jenis tanah yang mempunyai gradasi tanah yang baik, kasar, butiran-butiran tanahnya tetap stabil walaupun sistem drainasenya tidak baik.

b. Kelas E2

Jenis tanah mirip grup E1, tetapi kandungan pasirnya lebih sedikit, dan mungkin mengandung presentase lumpur dan tanah liat yang lebih banyak. Tanah dalam kelas ini bisa menjadi tidak stabil apabila sistem drainasenya tidak baik.

c. Kelas E3 dan E4

Terdiri dari tanah yang berbutir halus, tanah berpasir dengan gradasi lebih jelek di banding dengan grup E1 dan E2. Grup ini terdiri dari pasir berbutir halus tanpa daya kohesi, atau tanah liat berpasir dengan kualitas pengikatan mulai dari cukup sampai baik.

d. Kelas E5

Terdiri dari tanah yang bergradasi yang kurang baik, dengan kandungan lumpur dan tanah liat campuran lebih dari 35% tetapi kurang dari 45%.

e. Kelas E6

Terdiri dari lumpur yang berpasir dengan indeks plastisitas yang sangat rendah. Jenis ini relative stabil bila kering atau pada *moisture content* rendah. Stabilitasnya akan kurang bahkan hilang akan menjadi sangat lembek dalam

keadaan basah, maka sangat sukar dipadatkan kecuali jika *moisture content* dikontrol dengan sangat teliti sesuai kebutuhan.

f. Kelas E7

Termasuk di dalamnya tanah liat berlumpur, tanah liat berpasir, pasir berlempung dan lumpur berlempung, mempunyai rentangan konsistensi kaku sampai lunak ketika kering dan plastis ketika basah.

g. Kelas E8

Mirip dengan E7, tetapi pada *liquid limit* yang lebih tinggi akan menghasilkan derajat penempatan yang lebih besar, pengembangan pengerutan dan stabilitas yang lebih rendah dibawah kondisi kelembaban yang kurang menguntungkan.

h. Kelas E9

Terdiri dari campuran lumpur dan tanah liat sangat elastis dan sangat plastis bila basah. Pada masa pemadatan perubahan volumenya sangat besar, mempunyai kemampuan mengembang menyusut dan sangat elastis.

i. Kelas E10

Adalah tanah liat yang berlumpur dan tanah liat yang membentuk gumpalan keras dalam keadaan kering, serta sangat plastis bila basah. Pada masa pemadatan perubahan volumenya sangat besar, mempunyai kemampuan mengembang menyusut dan sangat elastis.

j. Kelas E11

Mirip dengan tanah grup E10, tetapi mempunyai *liquid limit* yang lebih tinggi, termasuk didalamnya.

k. Kelas E12

Jenis tanah yang mempunyai *liquid limit* diatas 80, tidak diukur berapapun *index* plastisitasnya.

l. Kelas E13

Meliputi semua jenis tanah rawa organic, seperti gambut, mudah dikenal di lapangan. Dalam keadaan asli, sangat rendah stabilitasnya, sangat rendah *density* dan sangat tinggi kelembabannya.

Pada metode ini digunakan jenis pesawat yang mempunyai berat bruto lebih dari 3000 pound, dan untuk pesawat yang lebih ringan digunakan prinsip desain FAA sebagai data desain sekunder. Walaupun sebenarnya tes CBR dapat digunakan untuk mengevaluasi desain pada bagian subgrade, namun prosedur desain FAA dapat memperkirakan penggunaan suatu sistem penilaian subgrade. Dalam hal ini FAA membagi kedalam bagian jenis tanah yang berdasarkan klasifikasi, kondisi saluran dibawah tanah dan ada tidaknya salju. Tapi prosedur yang direkomendasikan perkerasan bandar udara di desain dengan keadaan tanah setempat atau kondisi sebenarnya. Prosedur ini dipengaruhi faktor mengenai kondisi sebenarnya. Prosedur ini dipengaruhi factor mengenai material perkerasan, efek dari beban pesawat, desain pergerakan beban dan kondisi salju. **Tabel 2.8.** adalah kelas tanah dasar untuk perkerasan lentur.

Tabel 2.8. Kelas Tanah Dasar (*Subgrade*) untuk perkerasan lentur

Kelas Tanah	Kelas Tanah Dasar			
	Drainase Baik		Drainase Jelek	
	Tidak bersalju	Bersalju	Tidak bersalju	Bersalju
E-1	Fa	Fa	Fa	F1
E-2	Fa	Fa	F1	F2
E-3	F1	F1	F2	F3
E-4	F1	F1	F2	F4
E-5			F3	F5
E-6			F4	F6
E-7			F5	F7
E-8			F6	F8
E-9			F7	F9
E-10			F8	F10
E-11			F9	F10
E-12			F10	F10
E-13			F10	F10

(Sumber: FAA *Airport Engineering Division*, 2021)

Jenis tanah sesuai FAA (E1 -E13) ditentukan dengan cara prosedur yang telah ditetapkan oleh USCS *Soil Classification System*. Tanah dasar dari berbagai tipe ini ditentukan oleh suatu keadaan kondisi drainase permukaan bawah tanah. Seperti yang ada pada tabel granular subgrades (E1-E4) mempunyai kondisi “drainase yang baik”, namun, jika material ini terdapat kadar air yang sangat tinggi, konturnya relative datar dan kedap air tetap harus dikategorikan sebagai” drainase yang buruk”.

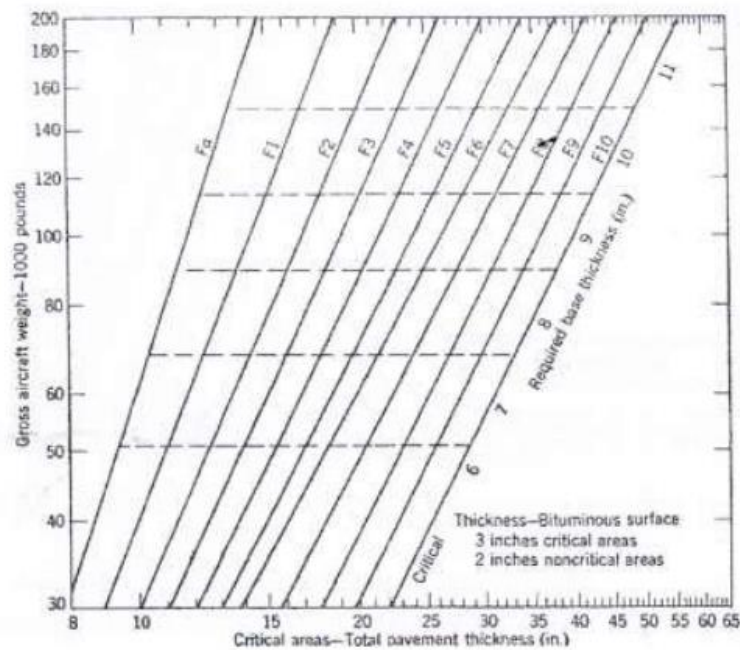
CBR tes merupakan cara untuk mendefinisikan jenis tanah kelas FAA, hubungan antara nilai CBR dan kelas FAA dapat ditentukan pada **Tabel 2.9** berikut.

Tabel 2.9. Hubungan Tanah Dasar dan Kelas Tanah

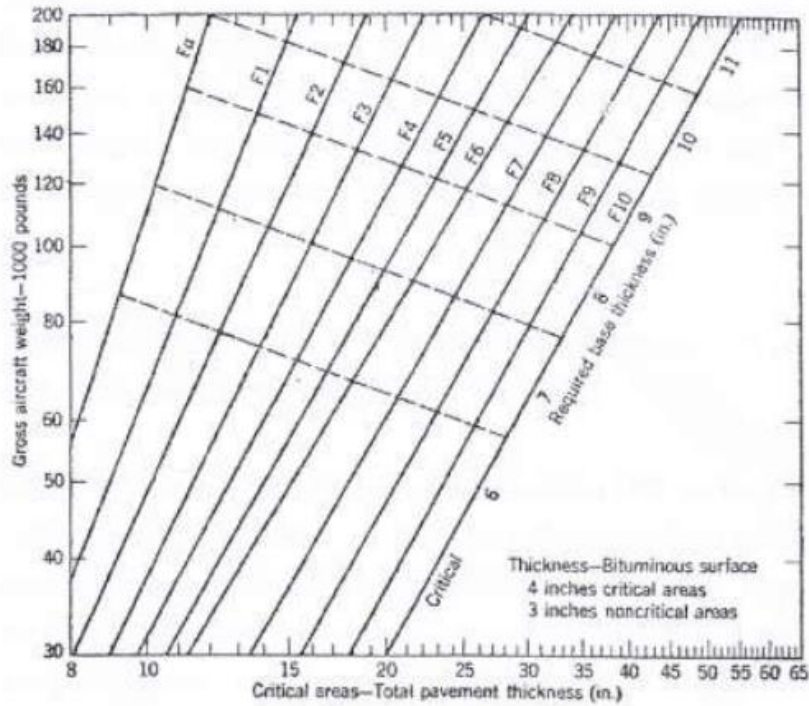
Kelas	F10	F9	F8	F7	F6	F5	F4	F3	F2	F1	Fa
CBR (%)	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	10	12	14,5	18	20

(Sumber: FAA *Airport Engineering Division*, 2021)

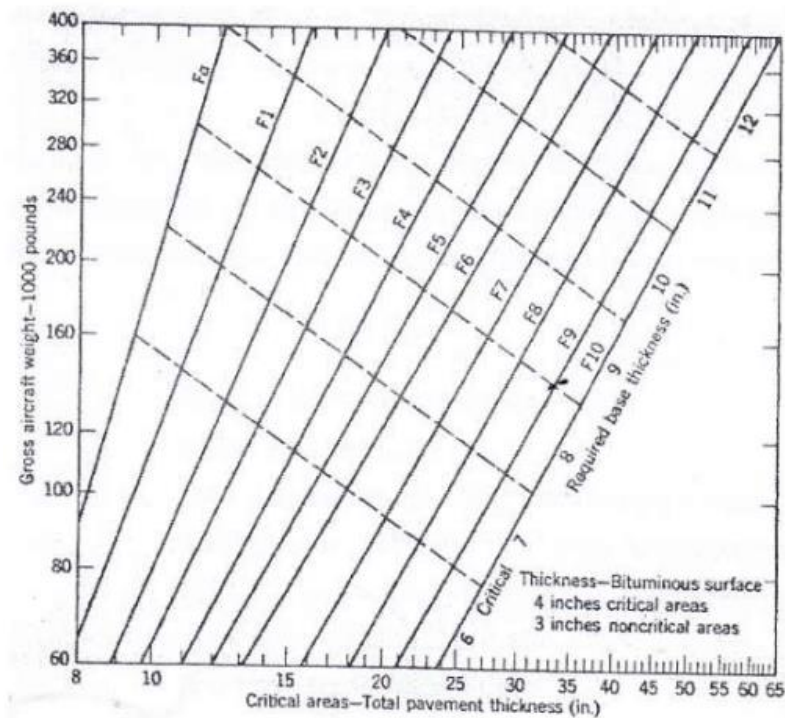
Pertimbangan juga diberikan kepada penggunaan bahan perbaikan subgrade seperti (perekat kapur, semen, aspal) jika kondisi kadar air yang diharapkan kurang baik. Perbaikan subgrade akan menghalangi setiap ketidakstabilan base atau sub base, ketika lapangan terbang yang direncanakan untuk pesawat udara lebih dari 200.000 berat bruto pon (konfigurasi dual tandem). Grafik hubungan berat pesawat dan jenis tanah untuk penentuan tebal lapis dapat dilihat pada **Gambar 2.8 – Gambar 2.10**



Gambar 2.8. Kurva desain untuk roda tunggal (*Single Wheel Gear*)



Gambar 2.9. Kurva desain untuk roda ganda (*Double Wheel Gear*)



Gambar 2.10. Kurva desain untuk roda ganda tandem (*Double Tandem Gear*)

Dalam perencanaan *Corp Of Engineers* untuk daerah lalu lintas lapangan terbang beban sedang di bagi per lapisan yang di tunjukan dengan nilai CBR dapat dilihat pada **Tabel 2.10** dan kedalaman pemadatan tanah dasar pada **Tabel 2.11**.

Tabel 2.10. Sifat bahan perkerasan

Bahan	Test CBR (%)	Prosentase Lolos		LL	PI
		No.10	No.200	(%)	(%)
Subgrade (Natural)	6			35	15
Subgrade (Compacted)	10			35	15
Subbase No.1	24	85	13	19	5
Subbase No.2	59	44	8	15	4

(Sumber: FAA Airport Engineering Division, 2021)

Tabel 2.11. Kedalaman pemadatan (tanah kohesif)

Persen pemadatan	100	95	90	85	80
Kedalaman Pemadatan (inch)	24	36	48	66	78

(Sumber: FAA Airport Engineering Division, 2021)

Dalam menentukan desain tebal base dan permukaan ditentukan dari tiga kriteria yaitu:

- a. Desain beban berat
- b. Desain beban sedang
- c. Desain beban ringan

Tebal Base course sama dengan tebal lapisan diatas subbase course dikurangi tebal lapisan permukaan (*Surface Course*). Hasil ini harus dicek dengan membandingkannya terhadap tebal base course minimum grafik, apabila tebal base course minimum lebih besar dari base course hasil perhitungan maka selisihnya diambil dari lapisan subbase course, sehingga tebal subbase berubah.

Pengaruh lalu lintas pesawat sangat mempengaruhi tebal lapis. Perkerasan harus melayani berbagai macam jenis pesawat yang memiliki jenis roda pendaratan dan beratnya juga bervariasi. Pengaruh dari berbagai jenis model lalu lintas harus dikonversi kedalam pesawat rencana dengan *Equivalent Annual Departure* yang dirumuskan sebagai berikut

$$\text{Log}R_1 = (\text{Log}R_2) \times \left(\frac{W_1}{W_2}\right)^{1/2}$$

Dimana

$$R_1 = \text{Equivalenten annual departure}$$

R_2 = Annual departure pesawat – pesawat campuran

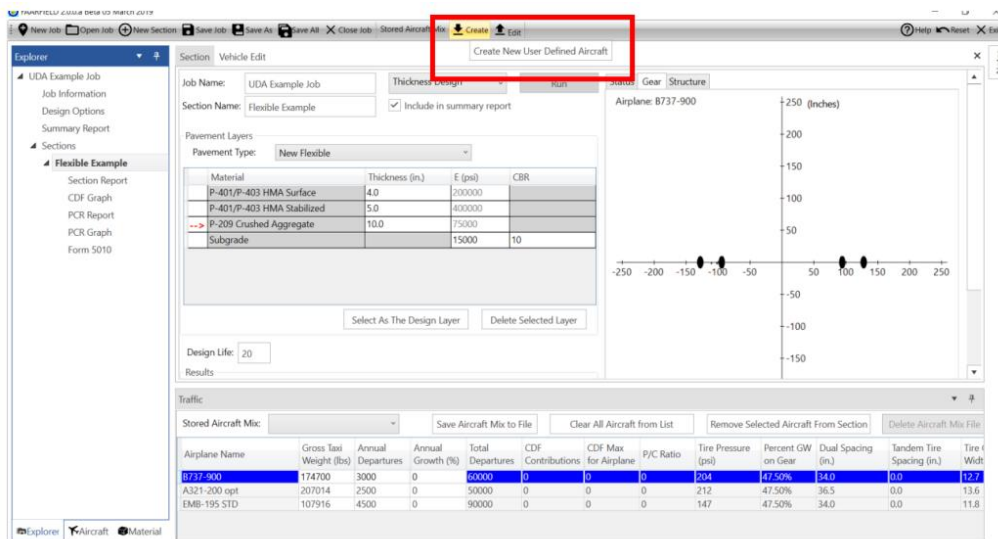
W_1 = Beban roda dari pesawat rencana

W_2 = Beban roda dari pesawat – pesawat yang di tanyakan

2.6.3. Metode Software FAARFIELD

FAARFIELD (*Federal Aviation Administration Rigid and Flexible Iterative Elastic Layered Design*) merupakan suatu program computer untuk mendesain tebal perkerasan lentur maupun kaku pada landasan bandar udara, FAARFIELD juga dapat mendesain tebal overlay perkerasan lentur atau kaku. Prosedur perhitungan dan desain ketebalan dalam program ini berdasarkan metode FAA-AC 150/5320_6G.

Program ini meninjau dan menghitung kebutuhan setiap jenis pesawat, namun program ini terbatas untuk perhitungan lain seperti analisa mawar angin, dan geometri landasan pacu. FAARFIELD memiliki data pesawat internal yang sebagian besar pesawat umum layanan komersial, jika data pesawat belum ada maka dapat ditambahkan. Tatat cara memasukan data pesawat dapat dilihat pada **Gambar 2.11**



Gambar 2.11. Memasukan data pesawat

Proses input yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Tekan menu *new user defind vehicle*
2. Pilih menu *gros taxi weight*
3. Masukan nilai sebagai angka decimal antara 0 – 1 dalam kebanyakan kasus dimasukan nilai 0.95 diasumsikan untuk desain ketebalan

4. Masukan nilai persen berat kotor pada roda gigi utama yang digunakan untuk perhitungan
5. Masukan koordinat horizontal ban dalam satu as roda gigi utama. Koordinat melintang (X) didefinisikan dengan mengacu pada garis tengah pesawat. Roda akan tercemin secara otomatis pada sisi lain dari sumbu longitudinal pesawat. Koordinat memanjang (Y) koordinat asal adalah bebas tetapi biasanya di pusat roda gigi.
6. Pada program bantu ini cara evaluasi respon elastisitas minimal satu titik evaluasi, tetapi tidak ada batas atas. Biasanya poin evaluasi didistribusikan pada titik regangan tanah dasar maksimum untuk geometri roda tertentu, hal ini di sebabkan karena regangan maksimum dapat berubah dibawah pusat ban yang di definisikan dengan persamaan:

$$A/T = 0,561(D/T) - 0,264$$

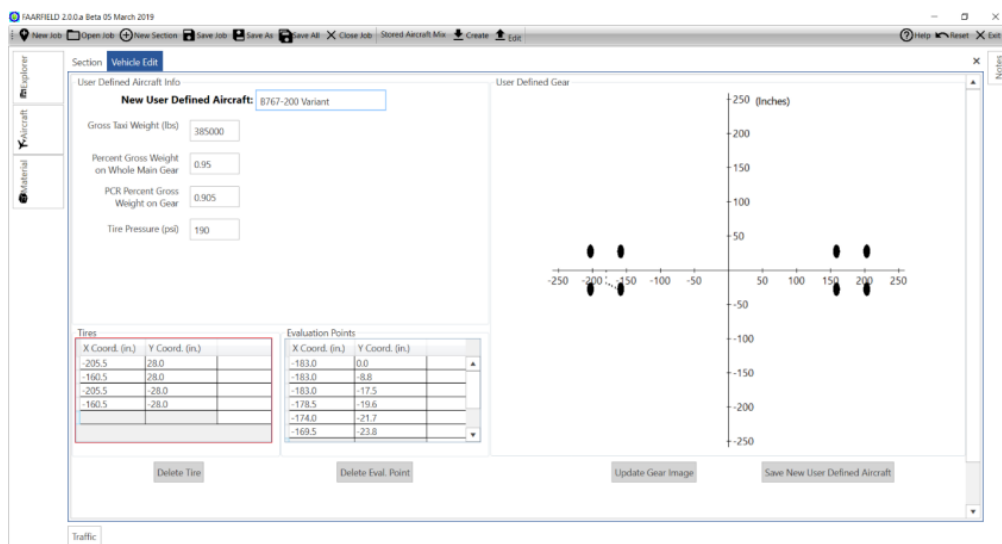
Dimana,

A = Jarak ke titik interflektion

T = Jarak antar roda tandem

D = Jarak 2 roda

Pada **Gambar 2.12** menunjukkan koreksi titik distribusi di locus, dengan 6 titik distribusi arah diagonal dan 3 titik arah longitudinal.



Gambar 2.12. Tampilan pengeditan titik distribusi roda

7. Data pesawat yang sudah tersimpan dapat diubah dengan menekan tombol *edit user defined vehicle* pada menu bagian atas layer.

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

1. Prinsip dasar perhitungan tebal perkerasan FAARFIELD yang didasarkan pada AC 150/5320_6G;

- Masukan semua data pesawat yang beroperasi di bandar udara rencana dan tidak melakukan ekuivalen pesawat rencana.
- Jarak roda pendaratan utama setiap pesawat dari garis mempengaruhi tingkat kerusakan perkerasan akibat roda (*Cummulative Dammage Factor*) contoh konsep CDF adalah sebagai berikut

Tabel 2.12. Contoh lapisan perkerasan

Tebal Lapis	Struktur Lapisan
4 inchi	P-401 Aspal <i>Surface Course</i>
8 inchi	P-403 <i>Stabilized Base Course</i>
12 inchi	P-209 <i>Crushed Agregate Base Course</i>
13 inchi	P-154 <i>Agregate Base Course</i>
	<i>Subgrade CBR 5% (7.500 Psi modulus)</i>

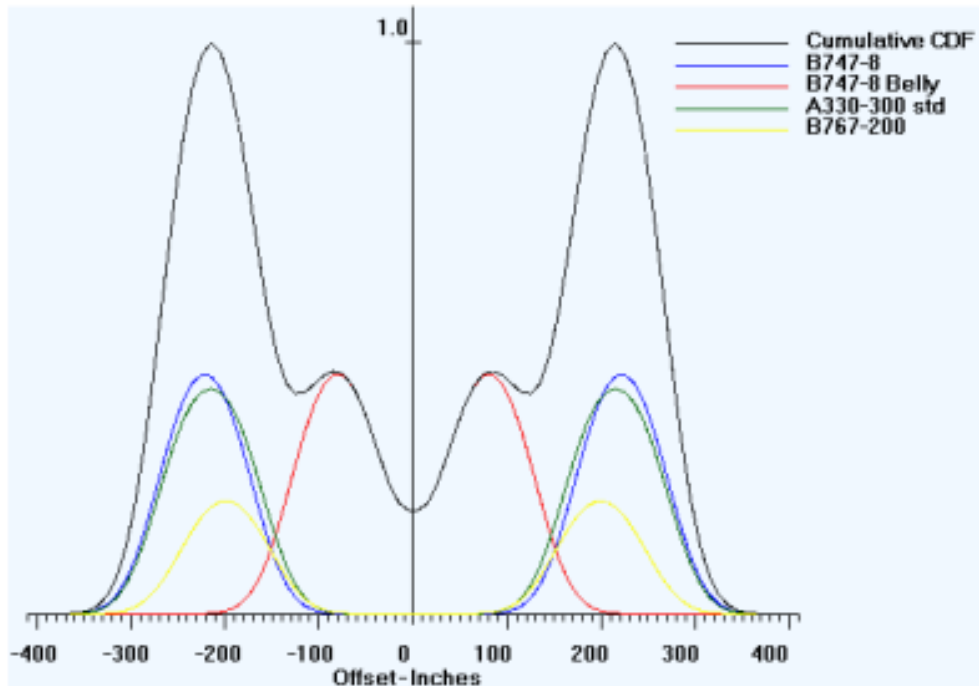
(Sumber: FAA *Airport Engineering Division*, 2021)

Tabel 2.13. Contoh kedatangan pesawat

Jenis Aircraft	Gross Weight (lbs)	Total kedatngan
B747-8	990.000	50
A330-300 std	509.000	500
B767-200	361.000	3000

(Sumber: FAA *Airport Engineering Division*, 2021)

Untuk melihat grafik setelah desain selesai, pilih grafik CDF dari eksplorer disisi kiri layer. Pada menu ini akan menampilkan grafik yang menggambarkan kontribusi dari setiap pesawat, serta CDF gabungan sebagai fungsi jarak lateral (*offset*) dari garis tengah. Dalam contoh yang ditunjukkan pada **Gambar 2.13**, offset kritis untuk CDF adalah terletak di antara roda gigi utama untuk pesawat evaluasi, dalam contoh ini tipe pesawat B747 yang memiliki CDF individu paling besar, tetapi tidak berkontribusi pada CDF pada saat diluar kritis.



Gambar 2.13. Contoh CDF kontribusi pesawat rencana

2. *Pass to coverage ratio* (PCR)

Rasio jumlah lintasan terhadap beban penuh per satuan luas perkerasan disebut sebagai *pass to coverage ratio*. Jumlah *coverages* harus diturunkan secara matematika berdasarkan PCR untuk masing – masing jenis pesawat. Secara definisi, satu satuan luas perkerasan lentur akibat pesawat tertentu. Pada perkerasan lentur, *coverages* area diukur sebagai jumlah repitsi regangan maksimum yang terjadi di atas tanah dasar. Pada perkerasan lentur, untuk keruntuhan atas regangan di lapis tanah dasar, lebar efektif di definisikan di atas tanah dasar. *Responses line* lebar efektif didefinisikan diatas tanah dasar. Roda dipertimbangkan untuk kondisi terpisah atau kombinasi, bergantung pada overlap *response lines*. Semua perhitungan lebar efektif roda dan PCR dilakukan di dalam program FAARFIELD.

Untuk perhitungan nilai *coverages* diperlukan nilai PCR (*Pass to Coverage Ratio*) yang merupakan unit kerusakan ekuivalen yang terjadi di dalam struktur perkerasan yang disebabkan oleh setiap lintasan roda pesawat udara yang dapat dilihat pada **Tabel 2.14**. Nilai PCR dimaksudkan untuk memperhitungkan kemungkinan

pergeseran jalur lintasan roda pesawat udara dalam arah lateral pada perkerasan.
Sehingga:

$$\text{Coverages} = \frac{n \times \text{Total Equivalent Annual Departure}}{\text{PCR}}$$

Dimana,

N = Massa layan rencana (tahun)

Total *equivalent annula departure* = Jumlah pesawat (tahun)

PCR = Pass to coverage ratio

Tabel 2.14. *Pass to Coverage Ratio*

No	Konfigurasi Sumbu Ratio	PCR
1.	Sumbu tunggal roda tunggal (S)	5,18
2.	Sumbu tunggal roda ganda	3,48
3.	Sumbu tandem roda ganda (DT)	3,68
4.	Sumbu tandem roda double (DDT)	3,70

(Sumber: International Civil Aviation Organization, 2014)

Tabel 2.15. *FAARFIELD Default Value*

Layer	Item	Modulus (Psi)	Poisson's Ratio
AC Surface	P-401/P-403	200.000	0,35
CTB Surface	P-304	500.000	0,20
Aggregate Subbase	P-208	43.042	0,30
CTB (Max)	P-306	700.000	0,20
CTB (Min)	P-301	250.000	0,20

(Sumber: FAA Airport Engineering Division, 2021)

2.6.4. Pertimbangan Perencanaan Perkerasan

Pada subbab ini dijelaskan pertimbangan metode perhitungan dengan cara *US corporation of enginners* (metode grafik) dan perhitungan FAA AC No.150/5320_6G *Airport Pavement Design and Evaluation*.

- a. Umur rencana

Perencanaan *US corporation of enginners* untuk perkerasan berdasarkan umur rencana dua puluh tahun, pada *Software* bantu FAARFIELD dapat digunakan untuk umur rencana yang lain, namun penggunaan umur diluar dua puluh tahun akan memberikan standar deviasi FAA. Umur desain struktur perkerasan dijelaskan dibawah:

- Standar untuk umur rencana structural adalah dua puluh tahunan.
- Umur rencana struktur mengindikasikan kinerja perkerasan yang disyaratkan menerima beban repitisi yang diijinkan sebelum terjadi kerusakan pada dubgrade.
- Usia struktur ditentukan dari kedatangan tahunan di kali dua puluh.
- Kondisi permukaan maupun keadaan berbahaya lainnya yang dapat mempengaruhi penggunaan perkerasan oleh pesawat tidak mewakili desain namun untuk rencana struktur.

a. Kombinasi lalu lintas

Kombinasi lalu lintas yang terjadi di landasan pacu diperhitungkan secara terpisah dan diakumulasikan sebagai beban yang tersendiri dengan masing – masing letak beban yang didistribusikan oleh roda pesawat. Pesawat rencana ditentukan dengan memilih pesawat dengan daya rusak tertinggi berdasarkan berat dan jumlah keberangkatan pesawat. Prosedur perencanaan tidak mengkonversi campuran lalu – lintas menjadi keberangkatan ekivalen pesawat rencana. FAARFIELD menganalisis kerusakan pada perkerasan untuk masing – masing pesawat dan menentukan tebal akhir untuk kerusakan total. FAARFIELD mempertimbangkan penempatan sumbu utama masing – masing pesawat terkait dengan garis sumbu.

b. Keberangkatan Tahunan Pesawat.

FAARFIELD memperhitungkan annual departure secara kumulatif dan tidak dijadikan equivalent annual departure seperti yang diterapkan pada cara manual. Pada program bantu FAARFIELD, total keberangkatan tahunan pesawat setiap pesawatnya dihitung untuk masa layan perkerasan dan presentase jumlah keberangkatan tahunan.

Total keberangkatan tahunan pesawat dihitung dengan persamaan:

$$n = \left(1 + \frac{b \times L}{200}\right) \times a \times L$$

Dimana,

- N = Total jumlah keberangkatan
- L = Umur rencana perkerasan
- a = Angka keberangkatan tiap tahun
- b = Pertumbuhan lalu lintas (%)

c. Cummulative Damage Factor

FAARFIELD didasarkan pada faktor kerusakan kummulatif. CDF adalah angka yang menunjukkan kelelahan structural akibat lama masa pelayanan operasional, dengan persamaan

$$CDF = \frac{(annual\ departure) \times (life\ in\ years)}{\frac{Pass}{coverageratio} \times (Coverage\ to\ failure)}$$

$$CDF = \frac{Pergerakan\ beban\ yang\ terjadi}{pergerakan\ beban\ yang\ menyebabkan\ kerusakan} \times \frac{c}{o}$$

Apanila $CDF = 1$, maka perkerasan mampu digunakan selama umur rencana sampai kerusakan terjadi. Apabila $CDF < 1$ maka perkerasan memiliki sisa setelah umur rencana terlampaui. Apabila $CDF > 1$, maka perkerasan mengalami kerusakan sebelum umur rencana terlampaui. Persamaan yang menunjukkan hubungan antara c dan regangan vertical (Ev) pada bagian atas tanah dasar adalah;

$$C = \left(\frac{0,004}{Ev}\right)^{8,1} \quad \text{Untuk } c \leq 12.100$$

$$C = \left(\frac{0,002428}{Ev}\right)^{14,21} \quad \text{Untuk } c \geq 12.100$$

Dimana,

- C = Jumlah pergerakan (*Coverage*) yang menyebabkan kegagalan
- Ev = Regangan vertical pada bagian atas lapisan tanah dasar

Persamaan tersebut menunjukkan hubungan antara jumlah liputan yang mengakibatkan kerusakan (C) dengan regangan horizontal yang terjadi pada bagian bawah lapisan aspal atau dengan persamaan

$$\text{Log}_{10}(C) = 2,68 - 5 \times \text{Log}_{10}(Eh) - 2,665 \times \text{Log}_{10}(Ea)$$

Dimana,

- C = Jumlah pergerakan yang menyebabkan kegagalan
- Ea = Modulus elastisitas aspal

- Eh = Regangan horizontal yang terjadi dibawah lapisan aspal
- d. Berdasarkan AC 150/5320_6G tebal lapisan minimum untuk surface dengan item P-401 HMA adalah sebesar 5 inchi / 12,7 cm
- e. Berdasarkan AC 150/5320_6G menentukan tebal base course disesuaikan kebutuhan pesawat. Yang dapat dilihat pada **Tabel 2.16.**

Tabel 2.16. Tebal minimum Base Course untuk Program bantu FAARFIELD

Gear Type	Desing Load Range		Minimum Base Course Thickness	
	(lbs)	(kg)	(inchi)	(mm)
S	30.000 – 50.000	13.600 – 22.700	4	100
	50.000 – 70.000	22.700 – 34.000	6	150
D	50.000 – 100.000	22.700 – 45.000	6	150
	100.000 – 200.000	45.000 – 90.700	8	200
2D	100.000 – 250.000	45.000 – 113.400	6	150
	250.000 – 400.000	113.400 – 181.000	8	200
2D (B757) 2D(B767)	200.00 – 400.000	90.700 – 181.000	6	150
2D (DC – 10) 2D (L1011)	400.000 – 600.000	181.000 – 272.000	8	200
2D/2D2 (B747)	400.000 – 600.000	181.000 – 272.000	6	150
	600.000 – 850.000	272.000 – 385.700	8	200
C-130	75.000 – 125.000	34.000 -56.700	4	100
	12.500 – 175.000	56.700 – 79.400	6	150
3D (A380)	1.239.000 – 130.512.500	560.200 – 592.000	9	230

(Sumber: FAA Airport Engineering Division, 2021)

2.6.5. Parameter Penentu Kerusakan

Parameter penentu tebal perkerasan adalah data frekuensi rencana penerbangan masing – masing jenis pesawat udara dengan disertai data karakteristik masing – masing jenis pesawat udara. Dimulai dengan menentukan jenis pesawat rencana dan nilai keberangkatan tahunan ekivalen yaitu pesawat udara yang membutuhkan tebal perkerasan terbesar dengan frekuensi maksimal. Umumnya dalam perencanaan bandar udara dibutuhkan data frekuensi rencana 20 tahun kedepan. Jika hanya terdapat selama lima tahun maka data tersebut perlu diregresi untuk dapat menunjukkan data rencana selama 20 tahun atau biasanya disebut forecasting.

Karena pesawat udara yang beroperasi di bandar udara mempunyai konfigurasi roda pendaratan yang berbeda, maka perlu menentukan keberangkatan tahunan ekivalen dari pesawat udara rencana dengan konfigurasi roda tertentu. Keberangkatan tahunan ekivalen dari pesawat rencana ditetapkan dengan menjumlahlahkan nilai keberangkatan tahunan ekivalen setiap jenis pesawat dalam kelompok satu tahun.

BAB III

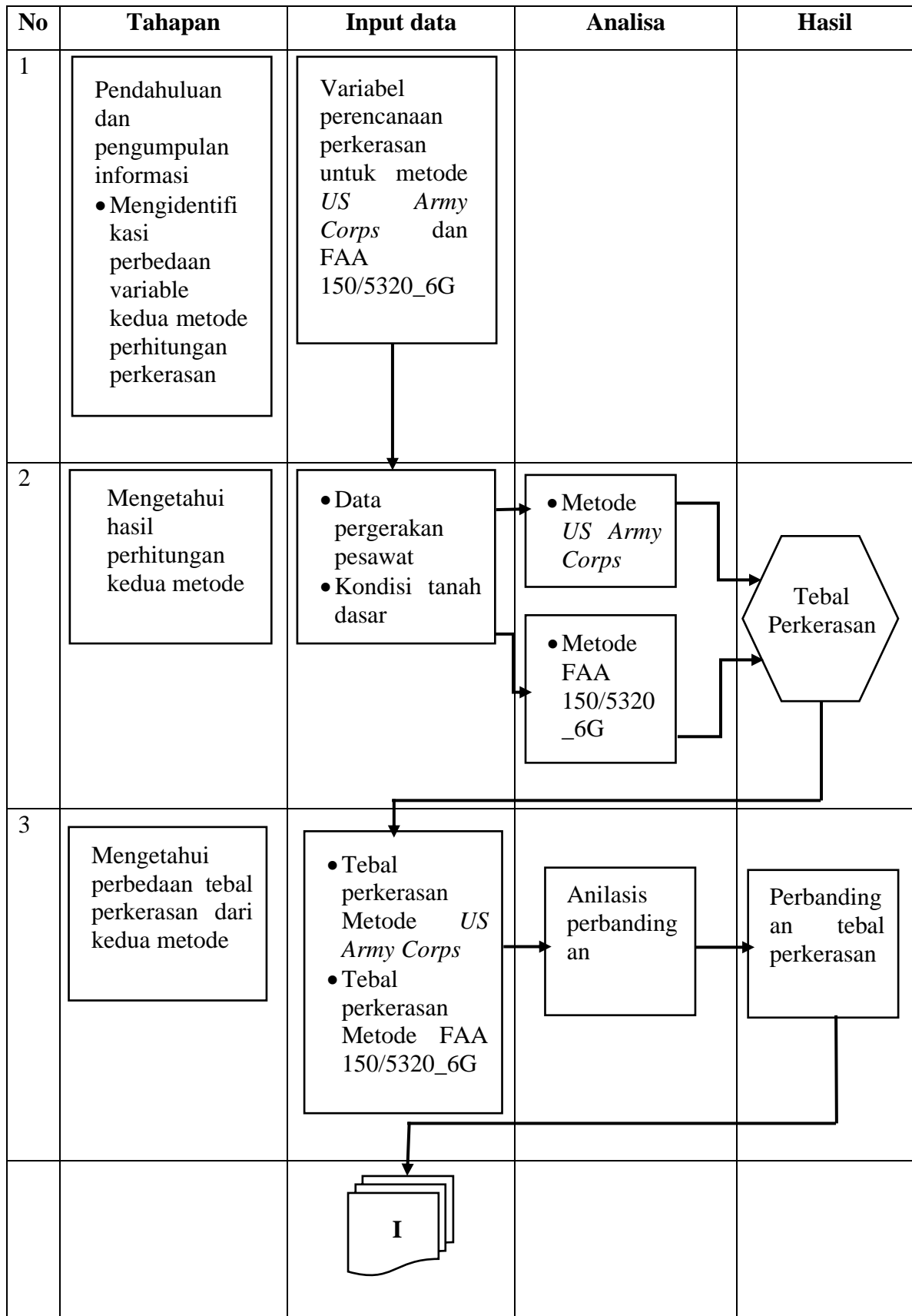
METODOLOGI

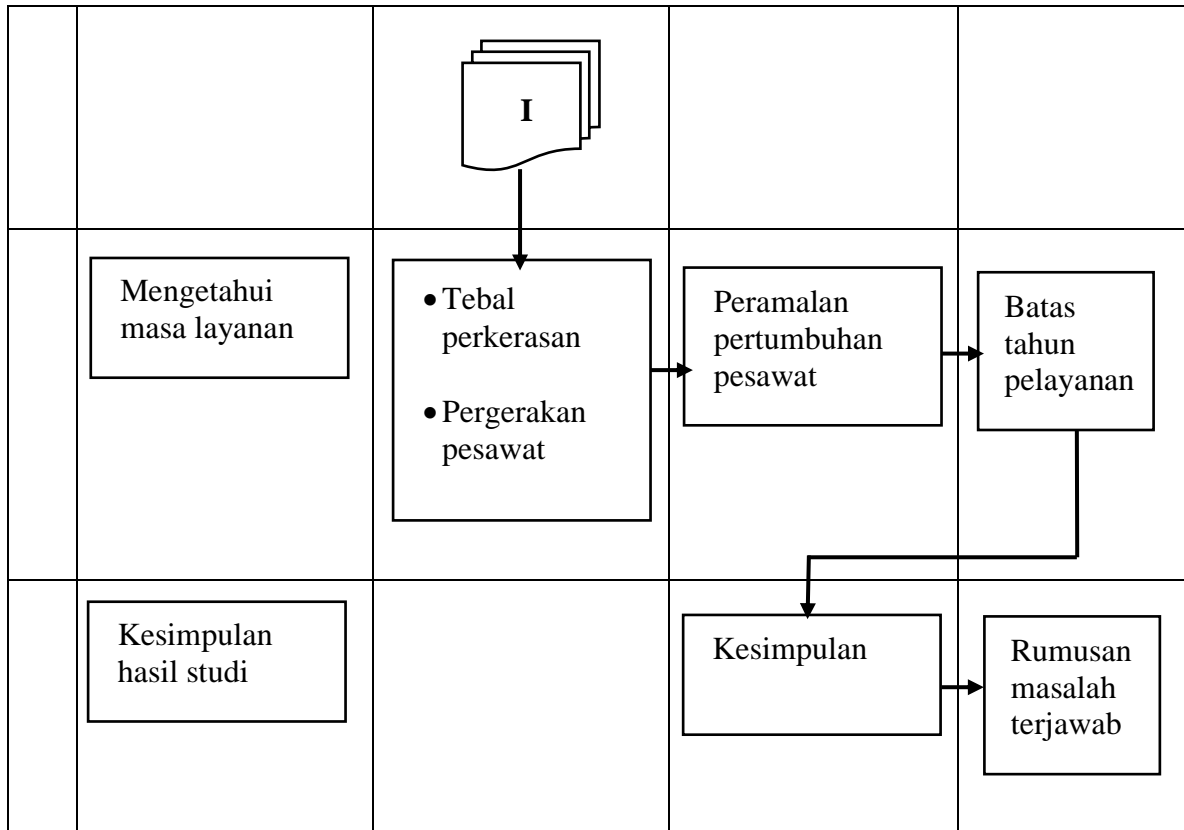
3.1. Umum

Untuk memudahkan dalam penjelasan pengerjaan penelitian ini, sangat diperlukan langkah – langkah kerja untuk dapat menyelesaikan penelitian ini sesuai dengan aturan yang berlaku. Pada bab ini akan dijelaskan mengenai langkah – langkah tersebut sehingga terbentuk sebuah kerangka yang bertujuan memudahkan penulis untuk mengetahui alur – alur pengerjaan penelitian. Untuk lebih jelasnya langkah kerja di uraikan pada **Gambar 3.1** sehingga penelitian dapat terlaksana dengan baik dan efisien.

3.2. Diagram Alir Penelitian

Dalam penyusunan penelitian ini diperlukan alur berfikir dan pelaksanaan dari awal hingga akhir penelitian dan disajikan dalam bentuk diagram alir.





Gambar 3.1. Diagram Alir Pengerjaan Penelitian

3.3. Uraian dan Rincian Sistematis Alur Penelitian

Penyusunan penelitian ini diuraikan dan dirinci secara sistematis untuk menjabarkan diagram alur pada gambar diatas.

- a Tahap persiapan
- b Identifikasi masalah
- c Studi pustaka
- d Pengumpulan data
- e Analisis data
- f Kesimpulan dan saran

3.3.1 Tahap persiapan

Langkah yang dilaksanakan pada pengerjaan penelitian ini sesuai dengan diagram alir yang telah dijelaskan pada **Gambar 3.1** berikut detail pengerjaan penelitian ini:

Tahap persiapan merupakan tahap awal sebelum memulai pelaksanaan dari penelitian ini. Pengambilan data terkait dilakukan di dinas perhubungan Kolaka Utara, Sulawesi Tenggara dan PT. Portal Engineering (konsultan perencanaan bandara). Persiapan yang dilakukan berupa wawancara awal dengan beberapa pihak agar mengetahui lingkungan atau kondisi bandar udara. Bandar udara Sangia Nibandera, Kolaka utara sedang tahap peningkatan kapasitas maka perlu dilakukan penelitian dari kondisi perkerasan landas pacu sebab landas pacu adalah komponen bagian atas yang langsung menerima beban dari gaya – gaya yang bekerja (Chen et al., 2018). Dari survey pendahuluan ini didapatkan beberapa metode perhitungan tebal lapis perkerasan yang sering dipakai di Indonesia.

3.3.2 Tahap identifikasi masalah

Tahap identifikasi masalah menjadi suatu langkah awal dalam suatu penelitian ini. Didalam identifikasi masalah dilakukan suatu proses penentuan gap analisis dimana pada gap analisis ini ditentukan kondisi eksisting (*Current state*) dan kondisi ideal (*Ideal state*).

Kondisi eksisting

Perhitungan tebal lapis perkerasan bandar udara menggunakan cara grafik pembulatan angka kurang tepat dan sudah ada pembaharuan terkait jenis pesawat dan material yang terpakai dalam perencanaan perkerasan landas pacu, serta pada tahun 2021 *Federal Aviation Administration* mengeluarkan *Advisory Circular* No.150/5320_6G (FAA Airport Engineering Division, 2021) penyempurnaan dari *Advisory Circular* No.150/5320_6F.

Kondisi ideal

Ideal state ini menjelaskan keadaan ideal atau keadaan yang seharusnya di lapangan. Dalam kondisi ini diharapkan perencanaan tebal lapis perkerasan Bandar udara Sangia Nibandera, Kolaka utara menggunakan standar *Federal Aviation Administration* dalam hal tersebut menggunakan standar *Advisory Circular* No.150/5320_6G.

3.3.3 Studi Pustaka

Tahap studi pustaka yang dilakukan yaitu pengumpulan berbagai teori yang mendukung dan berkaitan dengan kondisi serta permasalahan yang ada. Selain itu,

pada tahap ini telah diuraikan mengenai dasar teori yang berhubungan dengan materi studi mengenai perencanaan tebal lapis perkerasan bandar udara dengan menggunakan metode *Us Corp Engineers* dan *Federal Aviation Administration*, serta penelitian terdahulu yang mendukung penyelesaian penelitian. Untuk lebih detailnya teori serta referensi – referensi yang dipakai dalam penelitian ini di jelaskan pada bab 2 (studi pustaka).

3.3.4 Pengumpulan data

Dalam tahap ini di butuhkan pergerakan pesawat yang ada di Bandar udara Sangia Nibandera, Kolaka utara, jenis pesawat yang beroperasi di bandara udara tersebut. Data pergerakan pesawat di bandara tersebut adalah seperti **Tabel 3.1.** berikut

Tabel 3.1. Prediksi pergerakan pesawat di Bandar udara Sangia Nibandera

Jenis Pesawat	Susunan Roda	MTOW		Prediksi Pergerakan Tahunan (2041)
		Kg	Pound (lbs)	
ATR 42.500	Dual Wheel	18.600	41.005	1074
ATR.72.500	Dual Wheel	22.800	50.265	672
A320 Twin std	<i>Dual Wheel</i>	73.900	162.921	356
737-800	<i>Dual Wheel</i>	79.243	174.700	356
737-900 ER	<i>Dual Wheel</i>	85.366	188.198	730

(Sumber :Kementerian Perhubungan Republik Indonesia, 2014 dan Kementrian Perhubungan, 2019)

Selain data pergerakan pesawat, yang dibutuhkan untuk perencanaan perkerasan bandar udara adalah targer nilai PCN dari perkerasan landas pacu yaitu 30/F/B/X/T.

Perkerasan landasan dirancang dengan beberapa lapisan dengan beberapa lapisan setiap lapisan direncanakan dengan ketebalan tertentu dan cukup memadai untuk memastikan bahwa beban dari pesawat mampu dipikul oleh setiap lapisan perkerasan. Kekuatan perkerasan fasilitas sisi udara dinyatakan dalam suatu rangkaian angka dan huruf yang dinyatakan dengan *Pavement Classification Number (PCN)*. PCN menggambarkan kekuatan struktur perkerasan, jenis perkerasan, batas kekuatan subgrade, batas tekanan roda pesawat. Secara garis besar, nilai PCN adalah ditulis

dalam format berikut: PCN/F/B/X/T. Pada perencanaan pavement ini menggunakan cara penulisan kode PCN.

Tabel 3.2. Tata cara penulisan PCN di Bandar udara Sangia Nibandera

PCN	Jenis Perkerasan	Kategori Subgrade	Tekanan Roda	Metode Evaluasi
Nilai	R = Rigid	A = High	W	T = Technical
Numerik	F = Flexible	B = Medium C = Low D = Ultra Low	X Y Z	U = Using Aircraft

(Sumber: FAA Airport Engineering Division, 2021)

Dari nilai PCN runway diatas, dapat diketahui bahwa kategori subgrade mempunyai nilai subgrade yang rendah yang dapat kita lihat dari tabel di bawah ini. Klasifikasi kategori daya dukung tanah dasar. Nilai CBR Subgrade hasil analisa tim geoteknik adalah sebagai berikut:

Kondisi tanah dibagian atas umumnya berupa pasir sedikit lempung (7.8% - 14.8%) dengan berwarna abu – abu kehitaman, agak berpasir dan berbutir kasar, lepas berkisar 0 – 0.75 m, setelah itu ditemukan kuning kecoklatan, abu – abu kekuningan, agak keputihan, dengan soil description kerikil sangat keras dan kadang rapuh, dengan konsistensi, kurang konsisten, nilai pengujian SPT Lapangan & Sondir menunjukkan hasil yang cukup bervariasi dengan CBR korelasi (Autroads, 1997) diperkirakan terendah 0% sampai yang tertinggi sekitar 6% CBR setelah diadakan perbaikan agar memenuhi syarat perencanaan dari tim geoteknik adalah $CBR > 8\%$.

Tabel 3.3. Kategori daya dukung tanah di Bandar udara Sangia Nibandera

Kategori	Nilai CBR Flexible Pavement	Nilai 'K' Rigid Pavement (MN/m ³)	Kode
High	> 13%	> 120	A
Medium	8% - 13%	60 - 120	B
Low	4% - 8%	25 - 60	C
Ultra Low	< 4%	< 25	D

(Sumber: FAA Airport Engineering Division, 2021)

Beasarnya tekanan roda pesawat yang beroperasi dalam perencanaan dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 3.4. Tekanan roda di Bandar udara Sangia Nibandera

Kategori	Tekanan Roda		Kode
High	>218 Psi	> 1.5 Mpa	W
Medium	145 – 218 Psi	1.0 – 1.5 Mpa	X
Low	73 – 145 Psi	0.5 – 1.0 Mpa	Y
Ultra Low	<73 Psi	<0.5 Mpa	Z

(Sumber: FAA Airport Engineering Division, 2021)

Dari tabel diatas, dapat diketahui bahwa besarnya tekanan roda pesawat yang beroperasi di bandara kolaka utara menggunakan pesawat A.319 Airbus direncanakan tekanan roda pada perkerasan adalah medium 145 – 218 Psi.

3.3.5 Analisa data

a Tahapan desain perkerasan cara *US corporation of enginners grafis*

Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*) Pada lalu lintas pesawat, struktur perkerasan harus mampu melayani berbagai macam jenis pesawat yang mempunyai tipe roda pendaratan berbeda – beda dan bervariasi beratnya. Pengaruh dari beban yang diakibatkan oleh semua jenis model lalu lintas harus di konversikan kedalam pesawat rencana yaitu B737-900 ER dengan *equivalen annual departure* dari pesawat – pesawat campuran, sehingga dapat disimpulkan bahwa perhitungan ini berguna untuk mengetahui total keberangkatan keseluruhan dari bermacam pesawat yang dikonversikan ke dalam pesawat rencana. Untuk menentukan R1 dapat dihitung dengan persamaan:

$$\text{Log } R1 = \text{Log } R2 \sqrt{\frac{w2}{w1}}$$

Dimana:

R1 = Ekvialen keberangkatan tahunan dari pesawat rencana (lbs)

R2 = Jumlah keberangkatan tahunan oleh pesawat berkenaan dengan konfigurasi

W1 = Beban roda pesawat rencana (lbs)

W2 = Beban roda pesawat yang harus diubah

Perhitungan *equivalen annual departure* dapat dipilih pesawat terbesar dan tersibuk berikut ini langkah perhitungan untuk pesawat A-319:

R2 = Faktor pengali untuk keberangkatan x annual departure

Mencari *Wheel Load* rencana (W2), digunakan persamaan:

$$W2 = P \times MTOW \times \frac{1}{A} \times \frac{1}{B}$$

Equivalen annual departure didapatkan dengan persamaan:

$$\text{Log R1} = \text{Log R2} \left(\frac{W2}{W1} \right)^{0,5}$$

R1 adalah jumlah keberangkatan tahunan *equivalen* pesawat ditentukan dengan cara sebagai berikut:

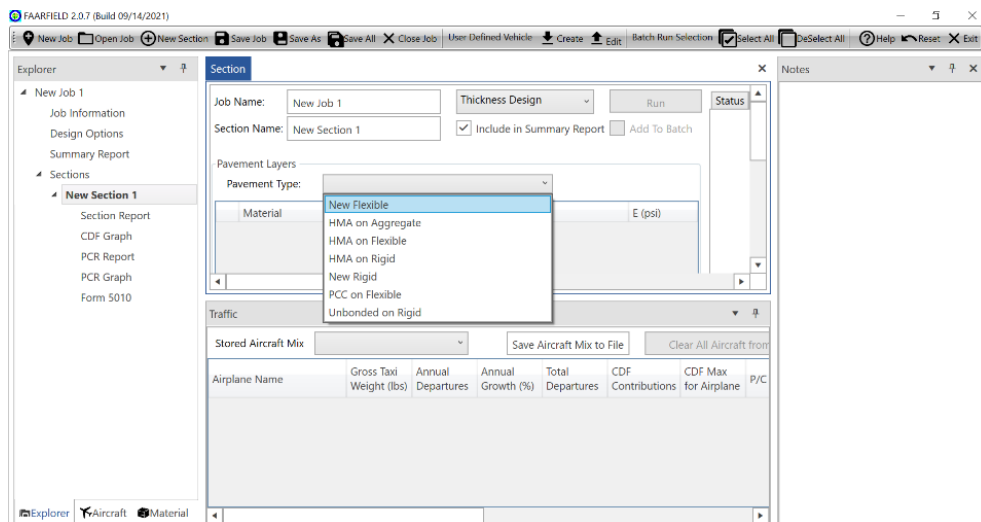
$$R1 = 10^{\text{logR2}} \left(\frac{W2}{W1} \right)^{0,5}$$

Setelah melakukan perhitungan dan didapatkan nilai MTOW dan *Annual Departure* desain, maka nilai yang didapatkan tadi diplotkan ke grafik dengan cara menarik vertical dari atas kebawah atau nilai CBR subgrade kebawah sampai garis nilai MTOW, kemudian tarik garis horizontal dari nilai *Annual Departure* desain, setelah itu tarik lagi garis kearah bawah sampai didapatkan nilai ketebalan total perkerasan, seperti **Gambar 2.4.** – **Gambar 2.7.** tergantung dari jenis pesawatnya.

b Tahapan desain perkerasan menggunakan Program bantu FAARFIELD

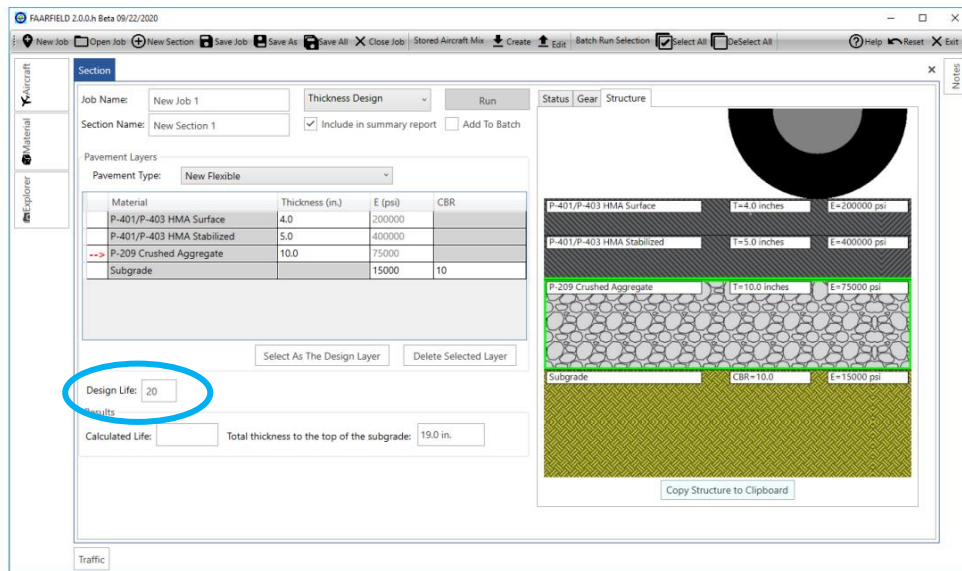
Dalam merencanakan tebal perkerasan bandar udara, juga menggunakan program bantu dalam perencanaan yang akan dilakukan. Untuk mendapatkan nilai dari tebal perkerasan, ada langkah – langkah pengerjaan yang harus dilakukan, akan di jelaskan sebagai berikut:

- Ketika program bantu dibuka, jendela starup di tampilkan, pilih jenis perkerasan seperti pada **Gambar 3.2.**



Gambar 3.2. Step 1 Program Bantu FAARFIELD

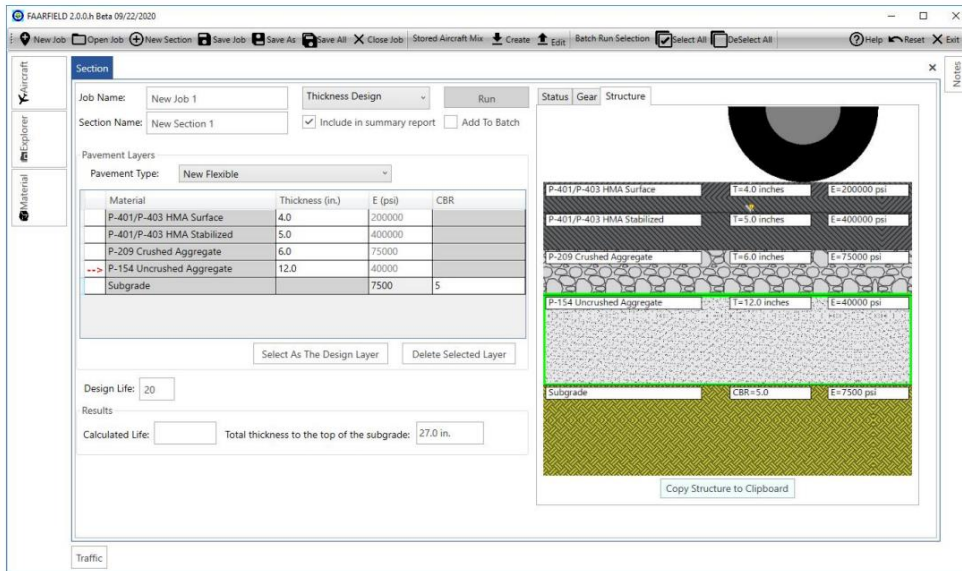
Setelah dipilih jenis perkerasan, dengan contoh *New flexible* maka akan tampil tebal perencanaan default seperti **Gambar 3.3.**



Gambar 3.3. Step 2 Program Bantu FAARFIELD

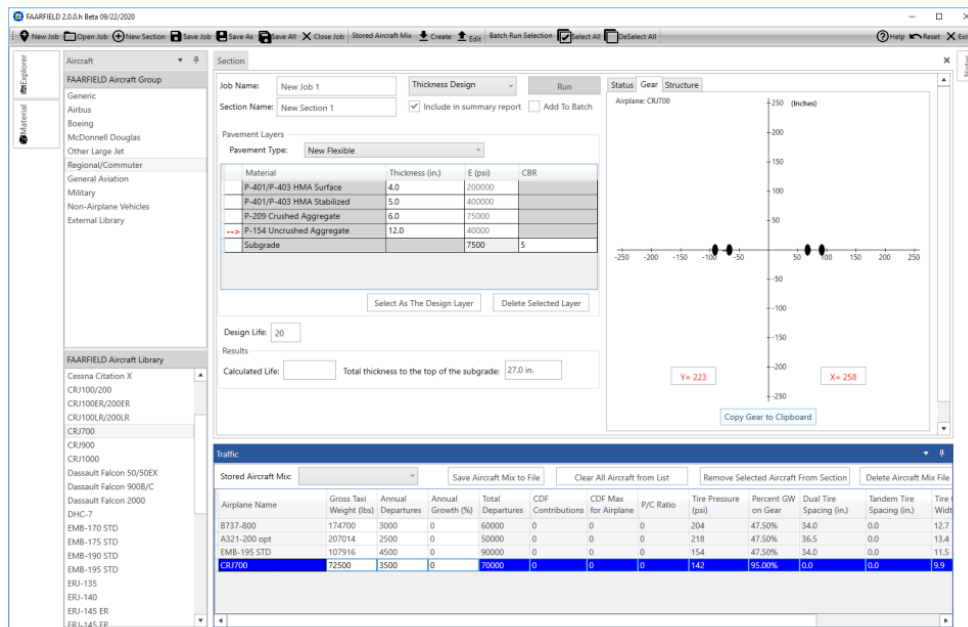
Pada kotak berwarna biru dapat diatur umur rencana perkerasan pada contoh diatas menggunakan umur rencana 20 tahun.

- Setelah tampil tebal perencanaan default, perkerasan dapat di modifikasi dengan memasukan nilai modulus elastisitas (E) dan jenis material dapat dilihat pada **Gambar 3.4.** Pada contoh di tambahkan jenis material P-209 *Crushed aggregate* dengan nilai E = 517,11 Mpa



Gambar 3.4. Step 3 Program Bantu FAARFIELD

- Setelah desain lapisan di buat tahap selanjutnya adalah desain pesawat rencana yaitu MTOW dan Intensitasnya contoh dapat dilihat pada **Gambar 3.5.**



Gambar 3.5. Step 4 Program Bantu FAARFIELD

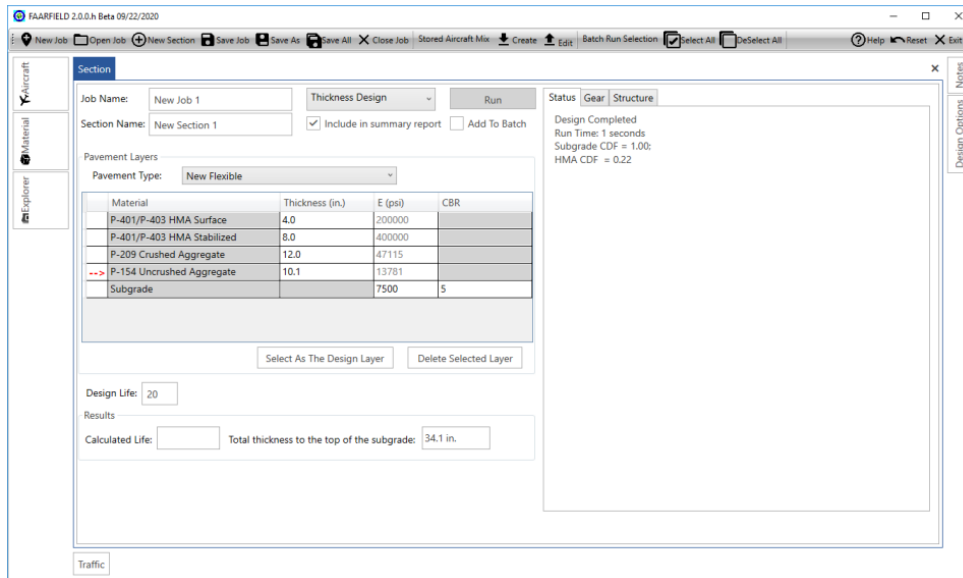
Pada menu aircraft pada kolom jenis pesawat dapat dimodifikasi nilainya yaitu:

- Gross taxi weight*
- Annual Departure*
- Annual Growth*

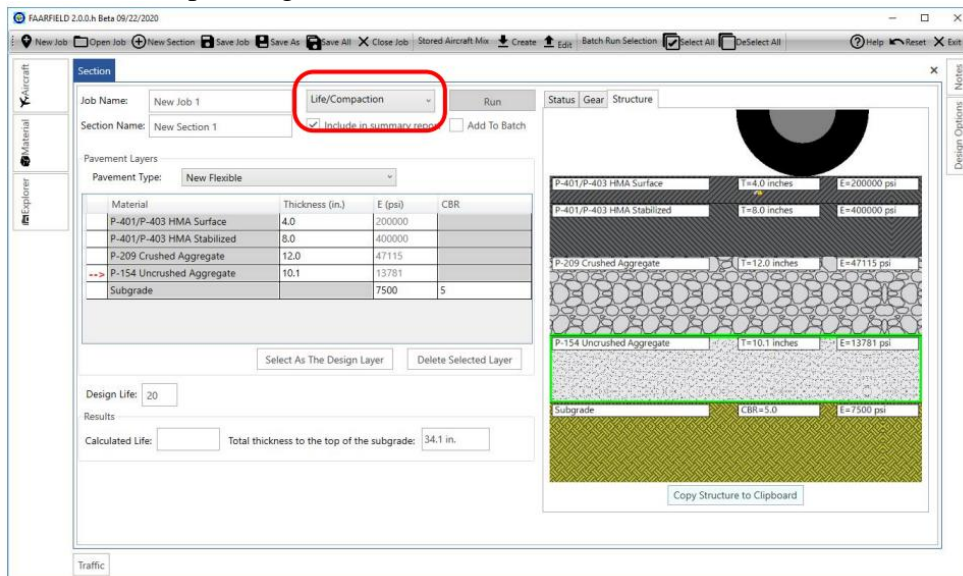
d Total Departure

e Tire Pressure

- Tahap selanjutnya adalah memasukan nilai CBR dan masukan nilai modulus elastisitas tahap terakhir di run dan di tunggu sampai CDF Subgrade rencana = 1 dapat dilihat pada **Gambar 3.6**. FAARFIELD mencakup kemampuan untuk mengevaluasi kedalaman diperlukan pemadatan tanah dasar. Setelah menyelesaikan ketebalan desain *Life Compaction* seperti **Gambar 3.7**. serta hasil dari tebal perkerasan dapat di lihat pada *Section Report*



Gambar 3.6. Step 5 Program Bantu FAARFIELD



Gambar 3.7. Step 6 Program Bantu FAARFIELD

c Tahapan perencanaan perkerasan kaku

Menurut *International Civil Aviation Organization*, tahun 2014 pasal 4.4.18.1 kurva perencanaan telah tersedia untuk perkerasan kaku sama seperti perkerasan lentur yaitu kurva terpisah untuk tipe roda pendaratan *single wheel*, *Dual wheel*, dan *Dual tandem*. Penggunaan kurva perencanaan memerlukan empat parameter masukan perencanaan yaitu: kekuatan lentur beton, modulus subgrade, berat kotor pesawat rencana dan keberangkatan tahunan pesawat terbang rencana. Kurva perencanaan perkerasan kaku hanya mengindikasikan ketebalan beton. Ketebalan komponen struktur perkerasan kaku yang lain harus ditentukan secara terpisah. Pasal 4.4.18.2. ketebalan yang diperlukan untuk perkerasan beton terhubung dengan beton yang digunakan dalam perkerasan. Kekuatan beton diperiksa dengan metode kekuatan lentur, sebagai aksi utama dari slab perkerasan beton adalah beton. Kekuatan lentur beton harus ditentukan dengan metode pengujian ASTM C-78, 2002. Secara normal kekuatan lentur umur 90 hari dipakai akan lebih besar 10% dari pada kekuatan 28 hari.

Direktorat jendral perhubungan udara dalam KP 93 tahun 2015 pasal 6.2.2.2 (iii) persamaan 6.4 menyatakan besarnya kekuatan lentur slab beton adalah $f_r = 9\sqrt{f'_c}$ dimana f_r adalah kekuatan lentur beton dan f'_c adalah kuat tekan silinder beton (0,83 kuat tekan kubus beton) dalam Psi. ICAO Doc 9157 part 3, 1989 pasal 4.4.18.3 nilai k adalah efek konstanta pegas material pendukung perkerasan kaku yang merupakan indikasi dari nilai daya dukung material pendukung. Pasal 4.4.18.4 berat kotor pesawat rencana diperlihatkan pada setiap kurva perencanaan. Kurva perencanaan dikelompokkan sesuai dengan tipe roda pendaratan kecuali untuk pesawat terbang berbadan lebar yang mana di tunjukan pada kurva terpisah. Rentang lebar berat kotor ditunjukan pada semua kurva untuk membantu menginterpolasi dimana saat dibutuhkan. Seluruh penyajian rentang berat kotor diperlihatkan untuk mencakupi mencakup berat pesawat terbang yang ada. Pasal 4.4.18.5. keberangkatan tahunan pesawat rencana merupakan parameter masukan ke empat. Keberangkatan harus dihitung menggunakan procedure yang diterangkan pada pasal 4.4.12.

ICAO Doc 9157 part 3, 1989 pasal 4.4.19.1. penggunaan pondasi bawah dibawah perkerasan kaku adalah untuk menyediakan dukungan kestabilan yang seragam pada slab perkerasan. Ketebalan minimum pondasi bawah adalah 4 inchi (10

cm) yang diperlukan dibawah semua perkerasan kaku, kecuali ditunjukkan pada **Tabel 3.5**.

ICAO Doc 9157 part 3, 1989 pasal 4.4.19.3 (ICAO, 1989) penentuan nilai k untuk pondasi bawah bergranular, kemungkinan – kemungkinan untuk meningkatkan nilai k terhubung dengan ketebalan bervariasi dari material pondasi bawah berbeda ditunjukkan pada **Gambar 3.10**. dimaksudkan untuk penggunaan ketika pondasi bawah terdiri dari bahan granular yang tidak stabil. Nilai yang ditunjukkan pada **Gambar 3.10**. menjadi panduan dan di padatkan

Tabel 3.5. Tebal minimal lapisan perkerasan kaku¹

Tipe lapisan	Material	MTOW lbs (kg)		
		<60.000 lbs (27.000 kg)	<100.000 lbs (45.360 kg)	≥ 100.000 lbs (45.360 kg)
<i>Rigid Surface</i> ²	P-501, <i>Cement Concrete Pavement</i>	6 in (150 mm) ²	6 in (150 mm) ²	6 in (150 mm) ²
Pondasi dengan drainase	P-407 ⁵ , P-307		6 in (150 mm)	6 in (150 mm)
Pondasi dengan stabilisasi ³	P-401 / P-403, P-304, P-306			5 in (125 mm)
Pondasi atas ⁴	P-209, P-207, P-208, P-210, P-211, P-212, P-213, P-219, P-220		6 in (150 mm)	6 in (150 mm)
Pondasi bawah ⁵	P-154	4 in (100 mm)		

¹ Desain struktural lengkap untuk menentukan ketebalan lapisan permukaan kaku yang diperlukan untuk mendukung lalu lintas aktual.

² Gunakan ketebalan FAARFIELD yang lebih besar ke 0,5 inci (10 mm) terdekat, atau ketebalan lapisan minimum, jika semua pesawat dengan ketebalan minimum <30.000 lbs (11.520 kg) 5 in (125 mm).

³ Stabilized Base Course, untuk persyaratan dan batasan. P-220 dapat digunakan di bawah beton dengan ketebalan minimum 12” dan ketika ketebalan beton ditambah 3”.

⁴ P-207, P-219 memerlukan pengujian laboratorium untuk menentukan apakah akan berfungsi sebagai base atau subbase. Jika CBR > 80, dapat digunakan sebagai pengganti P-209, CBR >60 sebagai pengganti P-208. Keduanya dapat digunakan sebagai subbase di bawah dasar yang stabil.

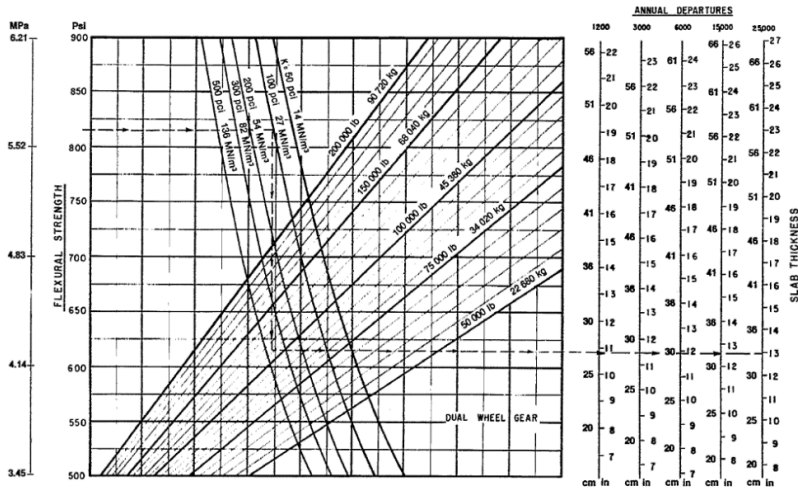
⁵ Bahan dasar apa pun dapat digunakan sebagai pondasi bawah.

(Sumber : FAA Airport Engineering Division, 2021 Tabel 3-4)

ICAO Doc 9157 part 3 pasal 4.4.20.1 kurva **Gambar 3.8.** digunakan untuk menentukan ketebalan slab beton untuk daerah kritis pada pesawat sumbu roda *Dual Wheel*. Ketebalan $0,9T$ (T =ketebalan perkerasan ekuivalen) untuk area non kritis penerapan pada tebal perkerasan beton, untuk bagian ketebalan bervariasi tepi menipis dan bagian transisi reduksi diterapkan pada ketebalan slab beton. Perubahan ketebalan untuk transisi harus disesuaikan atas seluruh lebar atau panjang slab beton. Area dengan ketebalan slab bervariasi ketebalan pondasi bawah harus diatur secara merata seperti keperluan untuk menyediakan permukaan drainase dari seluruh permukaan subgrade. Untuk fraksi 0,5 in atau lebih menggunakan angka seluruhnya lebih tinggi, untuk yang lebih kecil menggunakan angka lebih rendah berikutnya.

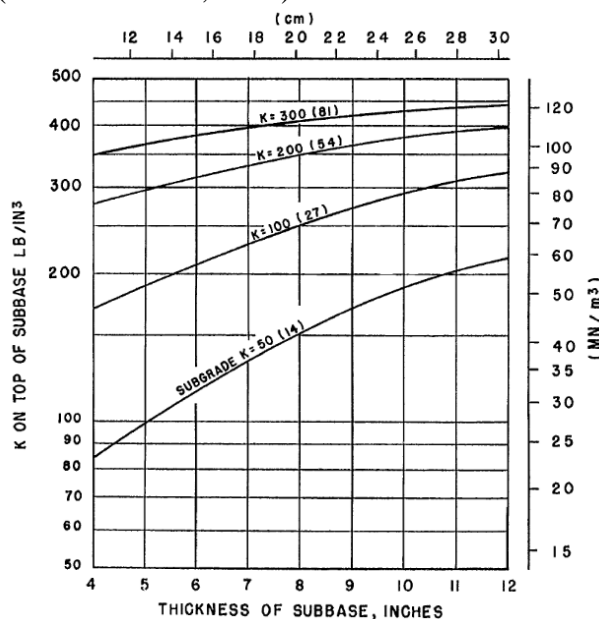
ICAO Doc 9157 part 3 pasal 4.4.21.1 pondasi bawah yang distabilisasi diperlukan untuk seluruh perencanaan perkerasan baru mengakomodasi pesawat terbang dengan berat 100.000 lbs (45.000 kg) atau lebih. Keuntungan secara struktural disampaikan pada bagian perkerasan dengan pondasi bawah yang distabilisasi adalah terpantul dari modulus reaksi subgrade ditandai pada pondasi. Pengecualian kebijaksanaan menggunakan pondasi bawah yang distabilisasi adalah sama yang diberikan pada pasal 4.4.15. Pada Pasal 4.4.21.2. penentuan nilai k dari pondasi bawah yang distabilisasi, pengaruh dari pondasi bawah yang distabilisasi terefleksikan pada modulus pondasi. Kesulitan dalam penentuan modulus pondasi adalah bahwa data pengujian akan tidak

ada selama masa perencanaan, **Gambar 3.9.** dikembangkan dari asumsi lapisan terstabilisasi dua kali seefektif dengan agregad batu pecah yang bergradasi baik dalam peningkatan modulus subgrade. lapisan terstabilisasi dari mutu yang lebih rendah harus ditandai nilai k lebih rendah. setelah nilai k ditandai untuk pondasi bawah yang distabilisasi, prosedur perencanaan sama dengan yang diuraikan pada pasal 4.4.18.



Gambar 3.8. Kurva perencanaan perkerasan kaku untuk pesawat terbang roda pendaratan tipe *dual wheel gear*

(Sumber: ICAO, 1983)



Gambar 3.9. Pengaruh pondasi terstabilisasi pada modulus *Subgrade*

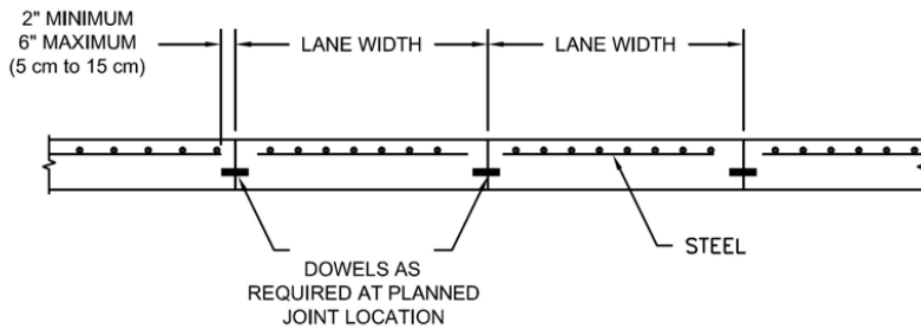
(Sumber : ICAO, 2004)

1. Tulangan tertanam dalam beton

Menurut ICAO Doc 9157 part 3 pasal 4.4.25.3 luas tulangan yang diperlukan untuk perkerasan kaku ditentukan berdasarkan kombinasi persamaan hisapan subgrade dan gesekan sebagai berikut:

$$A_s = \frac{3,7L\sqrt{L.t}}{f_s}$$

Dimana A_s adalah luas tulang per feet lebar/ panjang slab, L adalah lebar atau panjang slab dalam feet, t adalah tebal slab dalam inch, dan f_s adalah tegangan ijin baja dalam psi. Dalam persamaan di atas diasumsikan berat slab beton adalah 12,5 pound per feet persegi. Tegangan ijin tarik baja bervariasi sesuai dengan tipe grade baja. Direkomendasikan bahwa tegangan ijin baja diberikan sebagai $2/3$ kekuatan leleh baja. Untuk detailnya dapat dilihat pada **Gambar 3.10**.



Gambar 3.10. Tulangan tertanam (*Embedment Steel*) dalam beton

(Sumber : FAA Airport Engineering Division, 2021 Gambar 3.11)

Tabel 3.6. Ukuran dan berat besi tulangan tertanam dalam beton

Nomer	Diameter		Luas		Keliling		Berat	
	Inch	mm	Inch ²	mm ²	Inch	mm	Lb/ft	kg/m
1	0,375	9,5	0,11	0,71	1,178	30	0,376	0,56
2	0,500	12,7	0,20	1,29	1,571	40	0,668	1,00
3	0,625	15,9	0,31	2,00	1,963	50	1,043	1,57
4	0,750	19,1	0,44	2,84	2,356	60	1,502	2,26
5	0,875	22,2	0,60	3,86	2,749	70	2,044	3,07

Sumber : FAA AC 150/5320-6G Tabel 3-19, 2021

2. Tulangan tertanam dalam beton

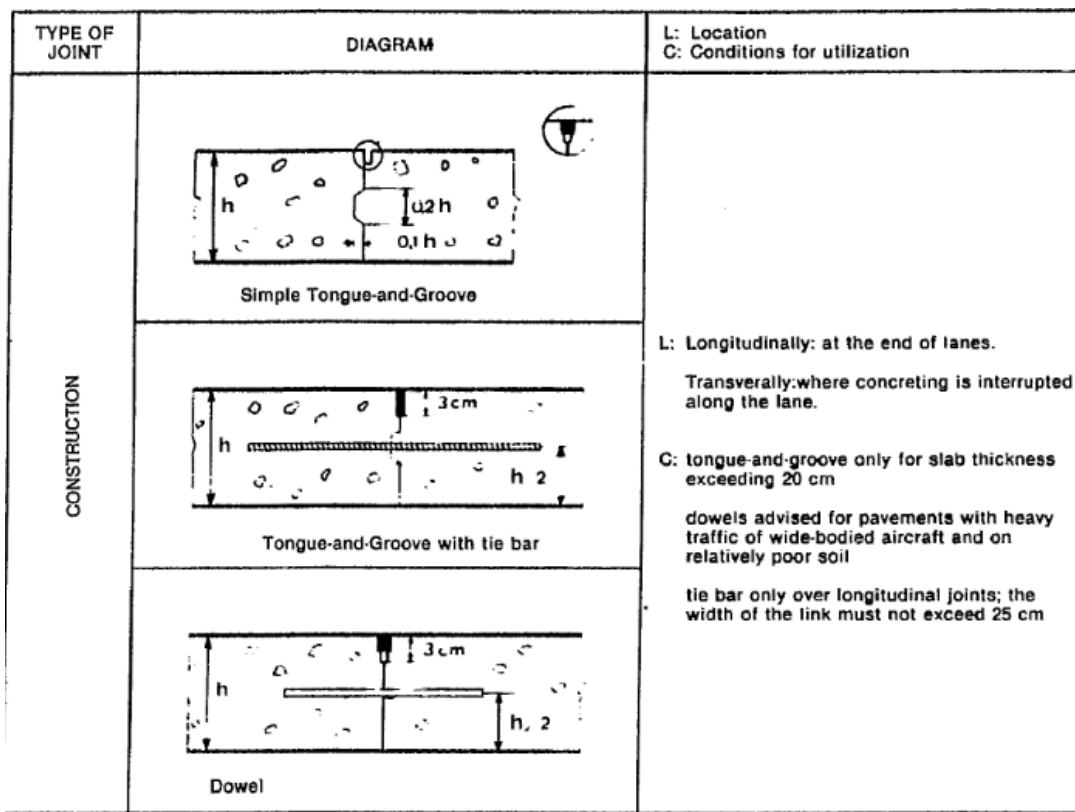
Parckad, 1995 Untuk slab beton tanpa tulangan sambungan dibuat pada setiap jarak dua kali tebal slab dalam inch dalam satuan feet. Panduan kasar untuk tebal slab 8 inchi jarak sambungan 15 feet hingga 20 feet. Panel 25x25 feet memuaskan untuk

perkerasan tebal kondisi lalu-lintas berat. Untuk slab beton dengan baja tulangan dengan mempertimbangkan ekonomi dan penampilan dowel perkerasan, dipilih jarak sambungan dari 30 feet atau 40 feet untuk tebal slab kurang dari 12 inci, dan 50 feet untuk perkerasan lebih tebal. Untuk melihat jarak sambungan tiap lapisan dapat dilihat pada **Tabel 3.7.** dan untuk detail sambungan kontruksi perkerasan kaku dapat dilihat pada **Gamabr 3.11.**

Tabel 3.7. Jarak sambungan maksimum perkerasan kaku

Tebal Plat	Jarak sambungan
Pondasi bawah tanpa distabilisasi	
6 in (152 mm)	12.5 ft (3.8 m)
6.5-9 in (165-229 mm)	15 ft (4.6 m)
> 9 in (229 mm)	20 ft (6.1 m)
Pondasi bawah distabilisasi	
8-10 in (203-254 mm)	12.5 ft (3.8 m)
10.5-13 in (267-330 mm)	15 ft (4.6 m)
13.5-16 in (343-406 mm)	17.5 ft (5.3 m)
> 16 in (> 406 mm)	20 ft (6.1 m)

Sumber : FAA AC 150/5320-6G Tabel 3-19, 2021



Gambar 3.11. Kontruksi sambungan perkerasan kaku

Dowel

Publication Number: FHWA-HRT-06-106, 2009 Yoder and Witczak, menyatakan pada celah sambungan perkerasan kaku terjadi reduksi beban transfer sebesar 5–10 persen; sehingga disarankan transfer beban yang diberikan adalah 45 beban roda.

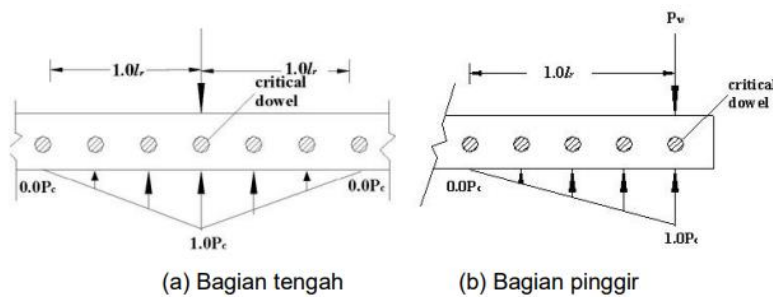
$$P_t = 0,45P_w$$

Friberg menemukan bahwa bahwa yang memikul beban hanya pada sepanjang $1.8 l_r$ dimana l_r adalah jari-jari kekakuan relatif.

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

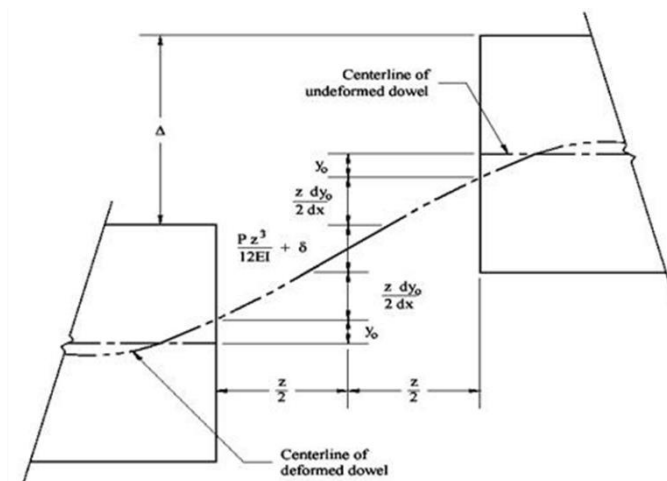
Distribusi beban pada dowel, dan dapat dilihat pada **Gambar 3.12**.

$$P_c = \frac{P_t}{n_{eff}}$$



Gambar 3.12. pola distribusi beban pada dowel sepanjang radius kekauan

Setelah beban terdistribusi pada dowel maka dowel terjadi lendutan seperti **Gambar 3.13**. dibawah.



Gambar 3.13. Analisa perilaku lendutan dowel

$$\Delta = 2y_0 + \delta$$

$$\delta = \frac{\lambda P_t z}{A.G}$$

$$y_0 = \frac{P_t(1-\beta \cdot z)}{4\beta^3 E_d I_d}$$

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{K_0 d}{4E_d I_d}}$$

Tegangan pada dowel

$$\sigma_b = K_0 \cdot P_c \frac{(2+\beta \cdot z)}{4\beta^3 E_d I_d}$$

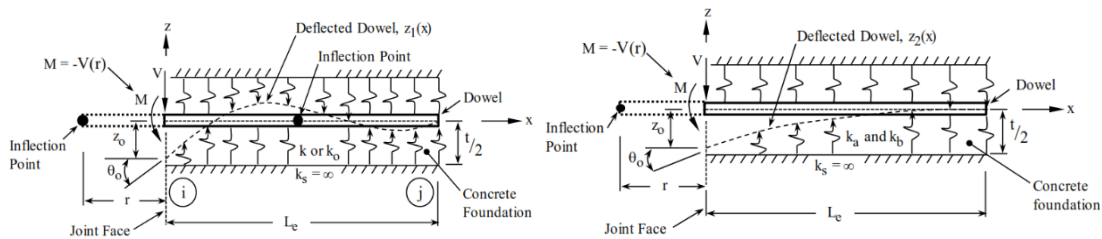
Tegangan ijin pada dowel

$$f_b = \frac{(4-d)f_c'}{3}$$

Modulus kontak K_0

Vesic, 1961 merumuskan besarnya modulus kontak untuk model parameter 1 sebagai berikut. Model parameter 1 untuk tebal slab beton lebih besar atau sama dengan 36 inchi (914 mm). Untuk E_c dan K_0 dalam psi (MPa), d dalam inch (mm) dan I_d dalam Inch⁴(mm⁴). Model interaksi dowel dan beton dapat dilihat pada **Gambar 3.14**.

$$K_0 = 0,80 \sqrt[12]{\frac{E_c d^4}{16E_s I_d (1-\nu_c^2)}} E_c$$



Gambar 3.14. Model interaksi dowel dan beton

Nishizawa, 1989 mengajukan model analisis sederhana mengestimasi besarnya modulus kontak dowel-beton sebagai berikut. Untuk E_c dalam psi, d dan h dalam inch.

$$K_0 = \frac{8E_c(1-\nu_c)}{(1+\nu_c)(1-2\nu_c)(h-d)}$$

Efisiensi sambungan

AASHTO menyarankan besarnya LTE bagus antara 70%-100%, besarnya LTE adalah sebagai berikut:

$$LTE = \left(\frac{2}{2-E} - 1 \right) 100\%$$

$$E = \frac{2d_v}{d_L+d_v} 100\%$$

Dimana

- A : Luas dowel(inch²)
- β : kekakuan relatif dowel terbungkus beton(inch⁻¹)
- E : efisiensi (E=75 %)
- E_c : modulus slab beton, $5700f_c^{0.5}$ (psi)
- E_d : modulus dowel(pci)
- d : diameter dowel(inch)
- d_L : lendutan sisi slab yang terbebani(inch)
- d_v : lendutan sisi slab yang tidak terbebani(inch)
- σ_b : daya dukung tegangan pada dowel(psi)
- f_b : daya dukung ijin pada dowel (psi)
- f_c' : tegangan tekan ijin beton (psi)
- h : tebal perkerasan(inch)
- k : modulus subgrade(pci)
- K_0 : modulus kontak dowel-beton, Yoder and Witczak nilainya berkisar 300.000-1.500.000 (pci)
- lr : jari-jari pengaruh kekakuan slab(inch)
- LTE : Load tranfer efisiensi(%)
- Pc : beban distribusi dowel(lb)
- Pt : beban transfer (lb)
- Pw : beban dari roda(lb)
- v : rasio poisson beton
- z : lebar celah sambungan(inch)

Standar jarak dan ukuran dowel bar dapat dilihat pada **Tabel 3.8.** dalam FAA AC/5320-6G, 2021.

Tabel 3.8. Ukuran dan jarak dowel

Tebal Slab	Diameter	Total Panjang	Jarak pkp
6-7 inc (150-178 mm)	3/4 in (20 mm)	18 in(460 mm)	12 in(305 mm)
7.5-12 inc (191-305 mm)	1 in (24 mm)	19 in(480 mm)	12 in(305 mm)
12.5-16 inc (318-406 mm)	1-1/4 in(30 mm)	20 in(510 mm)	15 in(380 mm)
16.5-20(419-580 mm)	1-1/2 in (40 mm)	20 in(510 mm)	18 in(460 mm)
20.5-24(521-610 mm)	1-3/4 in(50 mm)	24 in(610 mm)	18 in(460 mm)

Sumber : FAA AC 150/5320-6G Tabel 3-19, 2021

Tiebar

Packard, 1995 menyebutkan luas potongan melintang tulangan tiebar yang diperlukan per foot panjang sambungan slab beton adalah sebagai berikut,

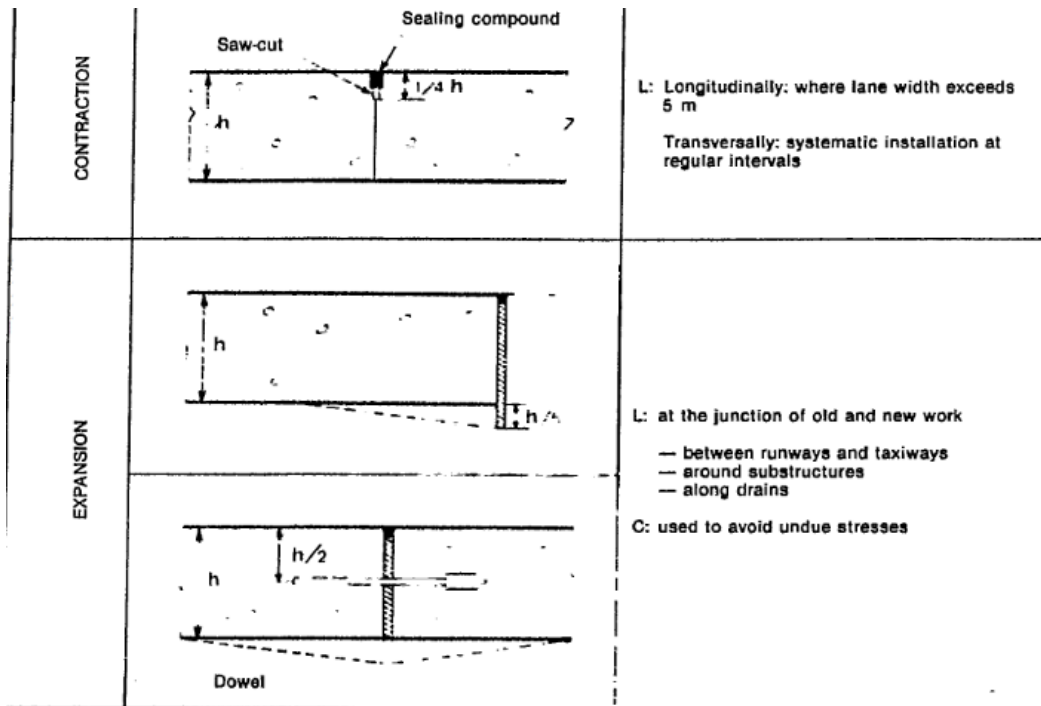
$$A = \frac{bC_fwh}{12f_s}$$

Panjang Tiebar dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut,

$$L_s = 1/2 \frac{f_s d_b}{350^*} + 3$$

Tegangan kerja maksimum untuk lekatan antara beton dan batang baja strip umumnya sebesar 0,1 kuat tekan beton silinder, dan maksimum 350 psi. Dimana notasi A adalah luas potongan melintang Tie bar per foot panjang sambungan slab beton dalam inch persegi, b adalah jarak antara sambungan slab dengan sambungan slab atau tepi slab dalam feet, C_f adalah koefisien tahanan subgrade terhadap greskan slab(diberikan 1,5), d_b adalah diameter Tiebar dalam inch, L_s adalah panjang tiebar dalam inch, w berat beton normal dalam pound per feet kubik, h tebal slab dalam inch, dan f_s adalah tegangan ijin besi tulangan ($2/3 f_y$).

FAA AC 150/5320-6G pasal 334a. tiebar tidak difungsikan sebagai alat untuk mentransfer beban. Transfer beban dilakukan oleh interlocking agregad pada retakan dibawah sambungan tipe groove. Batang harus tipe strip (deformed bar) sebagaimana disyaratkan dalam P-501. Diameter batang seharusnya 5/8 inchi (16 mm) dan berjarak 30 inchi (762 mm). Tidak diperbolehkan tiebar digunakan pada luasan perkerasan dengan sambungan memanjang lebih dari 75 inchi (23 m). Detail rerncana sambungan dapat dilihat pada **Gambar 3.15**.



Gambar 3.15. Sambungan pada perkerasan beton semen

Kesimpulan dan Saran

Hasil penelitian adalah tebal perkerasan dari metode US Bagaimana hasil perhitungan tebal lapis dengan metode *US corporation of enginners* dan *FAA AC (Advisory Circular) 150_5320_6G* dengan menggunakan Program bantu, serta persentase perbedaan hasil perhitungan tebal perkerasan dari kedua metode dan masa layan pada masing – masing metode perhitungan perkerasan.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisa Perbedaan Variabel

Didalam perhitungan perkerasan bandar udara, terdapat perbedaan variabel antara metode *US Army Corp Engineers* (Grafik) dan *Federal Aviation Administration 150/5320_6G* (Program bantu). Beberapa perbedaan dari kedua metode antara lain dapat dilihat pada **Tabel 4.1**.

Tabel 4.1. Perbedaan konsep perhitungan kedua metode perencanaan perkerasan bandar udara.

Cara	Parameter		
	Total keberangkatan tahunan	Pesawat rencana	Data kondisi tanah
<i>US Army Corp Engineers</i> (Grafik)	Didapatkan dari jumlah keberangkatan di tahun rencana dan di ekuivalensikan sehingga dapat mengakibatkan kelebihan dan kekurangan jumlah dari total keberangkatan tahunan	Yang diperhitungkan adalah pesawat yang memiliki frekuensi keberangkatan terbanyak	Nilai CBR yang digunakan <i>Subgrade</i> dan <i>Subbase</i>
<i>Federal Aviation Administration 150/5320_6G</i> (Program bantu)	Pertumbuhan lalu lintas dikali angka keberangkatan di kali umur rencana perkerasan,	Semua pesawat di perhitungkan sebagai penyumbang beban setiap	Hanya memasukan nilai CBR <i>Subgrade</i>

	sehingga tidak menimbulkan kekurangan dan kelebihan jumlah total keberangkatan tahunan	lapisan perkerasan yang memiliki CDF, sehingga setiap kebutuhan pesawat dapat dipakai	
--	--	---	--

4.2. Analisa Perhitungan Tebal Perkerasan

Dalam perhitungan perencanaan tebal perkerasan, ada dua metode yang akan digunakan yaitu metode *US Army Corp Engineers* (Grafik), cara klasik dan *Federal Aviation Administration 150/5320_6G* (Program bantu), FAARFIELD. Pada metode klasik / grafik terdapat beberapa cara dalam perhitungan menggunakan metode *US Army Corp Engineers* (FAA), LCN dan PCA. Namun pada penelitian ini metode yang digunakan adalah metode FAA yang di control dengan 2 Program bantu COMFA untuk yang cara klasik, sedangkan FAARFIELD untuk *Federal Aviation Administration 150/5320_6G*.

4.2.1. Perhitungan perkerasan lentur metode *US Army Corp Engineers* (Grafik)

Dalam perhitungan perkerasan menggunakan metode grafik, ada beberapa hal yang perlu diketahui yang merupakan faktor – faktor untuk digunakan pada perhitungan perkerasan. Faktor – faktor tersebut meliputi:

a Jenis pesawat

Dalam perhitungan perkerasan cara grafis, jenis pesawat yang digunakan adalah jenis pesawat yang mempunyai frekuensi keberangkatan terbanyak. Dengan cara mengkonversikan faktor keberangkatan semua pesawat kepada pesawat yang menjadi pesawat desain.

b Susunan roda

Setiap jenis pesawat mempunyai susunan roda yang berbeda – beda, diantaranya adalah *Single Wheel*, *Dual Wheel*, *Dual Tandem* dan lain – lain yang dapat dilihat pada **Tabel 2.1.** pada bab 2 studi Pustaka.

c MTOW (*Maximum Take-of Weight*)

Merupakan beban pesawat maksimum saat lepas landas. Beban ini meliputi berat operasi kosong, bahan bakar, dan muatan.

1 Menghitung *Equivalen Annual Departure*

dibutuhkan pergerakan pesawat yang ada di Bandar udara Sangia Nibandera, Kolaka utara, jenis pesawat yang beroperasi di bandara udara tersebut dapat dilihat pada **Tabel 4.2**.

Tabel 4.2. Jenis pesawat, susunan roda, MTOW dan keberangkatan tahunan

Tahap	Jenis Pesawat	Susunan Roda	MTOW		Keberangkatan Tahunan
			Kg	Pound (lbs)	
I	ATR 42.500	<i>Dual Wheel</i>	18.600	41.005	730
	ATR.72.500	<i>Dual Wheel</i>	22.800	50.265	730
II	A320 Twin std	<i>Dual Wheel</i>	73.900	162.921	356
	737-800	<i>Dual Wheel</i>	79.243	174.700	356
III	737-900 ER	<i>Dual Wheel</i>	85.366	188.198	730

(Sumber: Master plan Bandar udara Sangia Nibandera, Kolaka utara, 2021)

Dari tabel di atas, dapat diketahui type roda, berat maksimum saat lepas landas, dan frekuensi keberangkatan tahunan (*Annual departure*) masing – masing jenis pesawat. Selanjutnya adalah menentukan nilai *Equivalen Annual Departure* dengan menggunakan jenis pesawat 737-900 ER dan sebagai pesawat desain yang akan digunakan untuk mendesain tebal perkerasan. Langkah perhitungannya sebagai berikut:

- a Menentukan pesawat rencana

Pesawat rencana dapat ditentukan dengan melihat jenis pesawat yang beroperasi dan besar MTOW (*Maximum Take of Weight*) dan data jumlah keberangkatan tiap jenis pesawat yang berangkat tersebut. Pemilihan pesawat rencana ini pada dasarnya bukanlah berasumsi harus berbobot paling besar, tetapi jumlah pesawat yang berangkat dan pesawat yang parker di apron yang direncanakan. Pada perencanaan ini digunakan data pergerakan pesawat yang beroperasi terberat dan tersibuk yaitu pada saat perencanaan ultimate / tahap ketiga dipilih pesawat Boeing 737-900 ER dengan konfigurasi roda *Dual Wheel* sebagai pesawat rencana.

- b Menentukan beban roda pendaratan utama pesawat (W1)

Tipe roda pendaratan utama sangatlah menentukan dalam perhitungan tebal perkerasan. Hal ini dikarenakan penyaluran beban pesawat melalui roda – roda ke perkerasan. Untuk merencanakan kekuatan landasan, dianggap bahwa 5% beban diberikan kepada nose gear sedangkan yang 95% dibebankan kepada main gear. Apabila ada dua main gear, maka masing – masing gear menahan 47,5% beban pesawat. Dalam perhitungannya dengan menggunakan rumus:

$$W_1 = P \times \text{MTOW} \times \frac{1}{A} \times \frac{1}{B}$$

Dimana:

W_1 = Beban roda pendaratan pesawat rencana (lb)

MTOW = Berat kotor pesawat saat lepas landas

A = Jumlah konfigurasi roda

B = Jumlah roda per satu konfigurasi

P = Persentase beban yang diterima roda pendaratan utama

Dalam perencanaan ini digunakan tipe pesawat Boeing 737-900 ER dengan konfigurasi roda *Dual Wheel* dengan MTOW sebesar 188.198 lb, maka beban roda pendaratan utama pesawat W_1 :

$$\begin{aligned} W_1 &= P \times \text{MTOW} \times \frac{1}{A} \times \frac{1}{B} \\ &= 0,95 \times 188.198 \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \\ &= 44.697 \text{ lb} \end{aligned}$$

c Menentukan nilai ekivalen keberangkatan pesawat lain yang beroperasi di bandar udara

Pada lalu lintas pesawat, struktur perkerasan harus mampu melayani berbagai macam jenis pesawat yang mempunyai tipe roda pendaratan berbeda – beda dan bervariasi beratnya. Pengaruh dari beban yang diakibatkan oleh semua jenis model lalu lintas harus dikonversi ke dalam pesawat rencana yaitu Boeing 737-900 ER dengan *Equivalen Annual Departure* dari pesawat – pesawat campuran yang lain. Sehingga dapat diassumsikan bahwa perhitungan berguna untuk mengetahui total keberangkatan keseluruhan dari bermacam – macam pesawat yang dikonversikan ke dalam pesawat rencana. Untuk menentukan R1 digunakan persamaan

$$\text{Log } R_1 = \text{Log } R_2 \sqrt{\frac{W_1}{W_2}}$$

Dimana:

R1 = Ekuivalen keberangkatan tahunan dari pesawat rencana (lb)

R2 = Jumlah keberangkatan tahunan oleh pesawat berkenaan dengan konfigurasi roda

W1 = Beban roda pesawat rencana (lb)

W2 = Beban roda pesawat yang harus diubah

Hasil perhitungan *Equivalen Annual Departure* dapat dilihat pada **Tabel 4.2.** dan berikut ini

Tabel 4.3. Hasil hitungan *Equivalen Annual Departure*

Tahap	Jenis Pesawat	Susunan Roda	MTOW		Keberangkatan Tahunan		W1	W2	LogR1	R1
			Kg	Lb	R2'	R2				
I	ATR 42.500	<i>Dual Wheel</i>	18.600	41.006	730	730	44.697	9.739	3,53	3.350
	ATR 72.500	<i>Dual Wheel</i>	22.800	50.265	730	730	44.697	11.938	3,44	2.733
II	A320 Twin std	<i>Dual Wheel</i>	73.900	162.920	356	356	44.697	38.693	2,61	411
	737-800	<i>Dual Wheel</i>	79.243	174.699	356	356	44.697	41.491	2,58	384
III	737-900 ER	<i>Dual Wheel</i>	85.366	188.198	730	730	44.697	44.697	2,86	730
<i>Jumlah Equivalen Annual Departure Desain</i>										7.608

Dari tabel diatas, diperoleh nilai *Equivalen Departure* pesawat sebesar 7.608 dengan nilai MTOW 188.198 lb

2 Menentukan nilai CBR

Perkerasan landasan dirancang dengan beberapa lapisan dengan beberapa lapisan setiap lapisan direncanakan dengan ketebalan tertentu dan cukup memadai untuk memastikan bahwa beban dari pesawat mampu dipikul oleh setiap lapisan perkerasan. Kekuatan perkerasan fasilitas sisi udara dinyatakan dalam suatu rangkaian angka dan huruf yang dinyatakan dengan *Pavement Classification Number (PCN)*. PCN menggambarkan kekuatan struktur perkerasan, jenis perkerasan, batas kekuatan subgrade, batas tekanan roda pesawat. Secara garis besar, nilai PCN adalah ditulis dalam format berikut: PCN/F/B/X/T. Pada perencanaan pavement ini menggunakan cara penulisan kode PCN.

Tabel 4.4. penulisan PCN di Bandar udara Sangia Nibandera

PCN	Jenis Perkerasan	Kategori Subgrade	Tekanan Roda	Metode Evaluasi
Nilai Numerik	R = Rigid F = Flexible	A = High B = Medium C = Low D = Ultra Low	W X Y Z	T = Technical U = Using Aircraft

Dari nilai PCN runway diatas, dapat diketahui bahwa kategori subgrade mempunyai nilai subgrade yang rendah yang dapat kita lihat dari tabel di bawah ini. Klasifikasi kategori daya dukung tanah dasar. Nilai CBR Subgrade hasil analisa tim geoteknik adalah sebagai berikut:

Kondisi tanah dibagian atas umumnya berupa pasir sedikit lempung (7.8% - 14.8%) dengan berwarna abu – abu kehitaman, agak berpasir dan berbutir kasar, lepas berkisar 0 – 0.75 m, setelah itu ditemukan kuning kecoklatan, abu – abu kekuningan, agak keputihan, dengan soil description kerikil sangat keras dan kadang rapuh, dengan konsistensi, kurang konsisten, nilai pengujian SPT Lapangan & Sondir menunjukkan hasil yang cukup bervariasi dengan CBR korelasi (Autroads, 1997) diperkirakan terendah 0% sampai yang tertinggi sekitar 6% CBR setelah diadakan perbaikan agar memenuhi syarat perencanaan dari tim geoteknik adalah $CBR > 8\%$.

Tabel 4.5. Kategori daya dukung tanah di Bandar udara Sangia Nibandera

Kategori	Nilai CBR Flexible Pavement	Nilai 'K' Rigid Pavement (MN/m ³)	Kode
High	> 13%	> 120	A
Medium	8% - 13%	60 - 120	B
Low	4% - 8%	25 - 60	C
Ultra Low	< 4%	< 25	D

Besarnya tekanan roda pesawat yang beroperasi dalam perencanaan dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

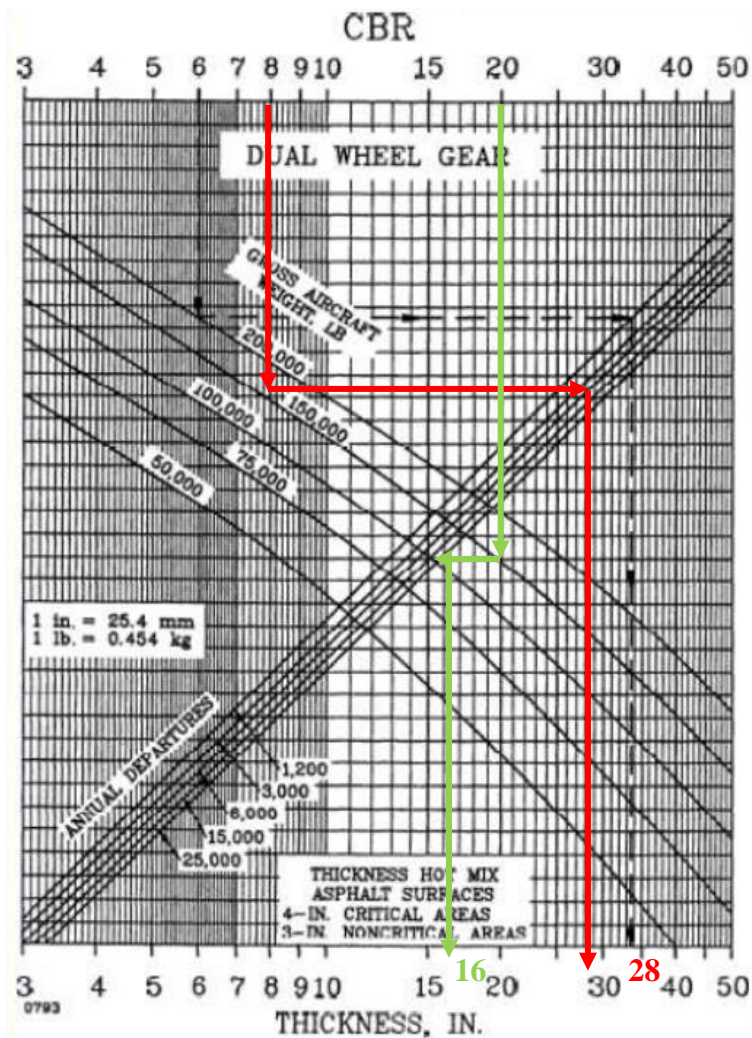
Tabel 4.6. Tekanan roda di Bandar udara Sangia Nibandera

Kategori	Tekanan Roda		Kode
High	>218 Psi	> 1.5 Mpa	W
Medium	145 – 218 Psi	1.0 – 1.5 Mpa	X
Low	73 – 145 Psi	0.5 – 1.0 Mpa	Y
Ultra Low	<73 Psi	<0.5 Mpa	Z

Dari tabel diatas, dapat diketahui bahwa besarnya tekanan roda pesawat yang beroperasi di bandara kolaka utara menggunakan pesawat Boeing 737-900 ER direncanakan tekanan roda pada perkerasan adalah medium >218 Psi, karena tekanan roda Boeing 737-900 ER adalah 1.517 kPa (Kilopascal) di konfersi 220 Psi (Pounds per square inch).

3 Penentuan tebal lapis perkerasan lentur

Dalam penentuan tebal lapis perkerasan dengan menggunakan grafik desain *Dual Wheel Gear* karena pesawat rencana Boeing 737-900 ER mempunyai sumbu roda *Dual Wheel*, dengan cara memasukan nilai CBR *Subgrade* desain, nilai *Equivalen Annual Departure*, dan nilai *Gross Aircraft*, yang disajikan pada **Gambar 4.1**. Nilai CBR *Subgrade* adalah 8%, *Equivalen Annual Departure* 7.608 dan MTOW 188.199 Pounds.



Gambar 4.1. Grafik tebal perkerasan untuk pesawat Boeing 737-900 ER

- = Garis untuk tebal perkerasan total CBR 8%
- = Garis untuk CBR *Subbase* (20%)

Hasil tebal perkerasan didapat dari plot grafik **Gambar 4.1.**

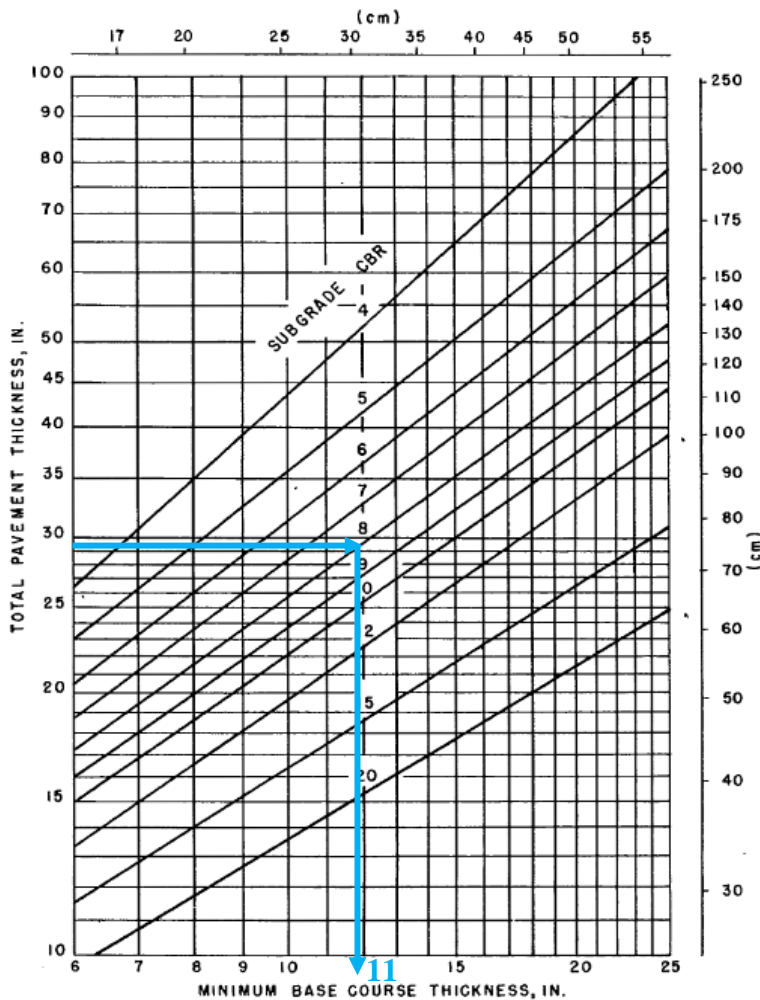
Tebal perkerasan total dari grafik **Gambar 4.1.** di dapat tebal perkerasan total adalah 28 inchi atau $28 \times 2,54 = 71,12$ cm, tebal untuk *Annual Departure* dibawah 25.00 kali per tahun tidak dikalikan dengan presentase pengali tahunan.

a Tebal lapisan permukaan (*Surface*)

Dari grafik **Gambar 4.1.** diketahui untuk tebal lapisan permukaan (*Surface*) daerah kritis adalah 4 inchi, sedangkan untuk non kritis adalah 3 inch. Jadi untuk perencanaan tebal lapisan permukaan di ambil angka kritis yaitu 4 inchi.

b) Tebal lapisan pondasi atas (*Base Course*)

Dengan menggunakan grafik yang sama dengan CBR *subbase* 20% diperoleh tebal 16 inchi. Dengan demikian dari CBR 20% diperoleh ketebalan lapisan pondasi atas dan lapis permukaan adalah 16 inchi. Sehingga untuk ketebalan lapisan pondasi atas yaitu 16 inchi dikurang 4 inchi yaitu 12 inchi. CBR pondasi atas diambil dari ketebalan minimum yang diperbolehkan untuk lapisan pondasi atas yaitu CBR 20% (FAA AC 150/5320_6D) dikoreksi dengan tabel minimum base course pada **Gambar 4.2.**



Gambar 4.2. Grafik tebal perkerasan minimum *Base Course*

c) Tebal lapisan pondasi bawah (*Subbase Course*)

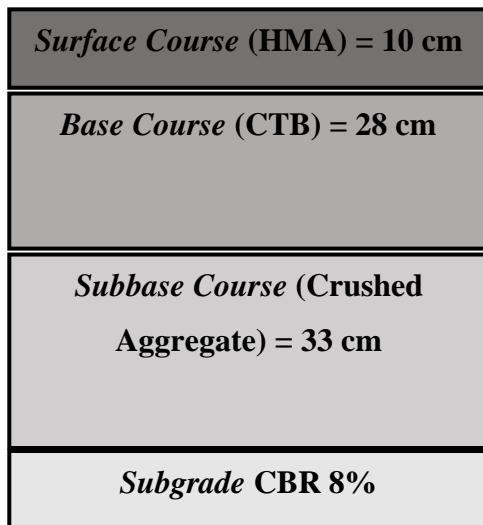
Total tebal perkerasan didapatkan 32 inchi, maka tebal lapisan *Subbase* adalah:

$$\begin{aligned} \text{Subbase Course} &= \text{Total lapisan} - \text{Base Course} - \text{Surface Course} \\ &= 28 - 11 - 4 = 13 \text{ Inchi} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan susunan tebal perkerasan lentur landas pacu menggunakan cara metode *US Army Corp Engineers* (Grafik) dilihat pada **Tabel 4.7**.

Tabel 4.7. Susunan perkerasan lentur dengan metode grafik

Layer	Inchi	cm
<i>Surface Course</i> (P-401/P-403 <i>Hot mix Asphalt</i>) HMA	4	10
<i>Base Course</i> (P-304 <i>Cement Treated Base</i>) CTB	11	28
<i>Subbase Course</i> (P-208 <i>Crushed Aggregate</i>)	13	33
Total	28	71



Keterangan:

P-401 = Hot mix aspal

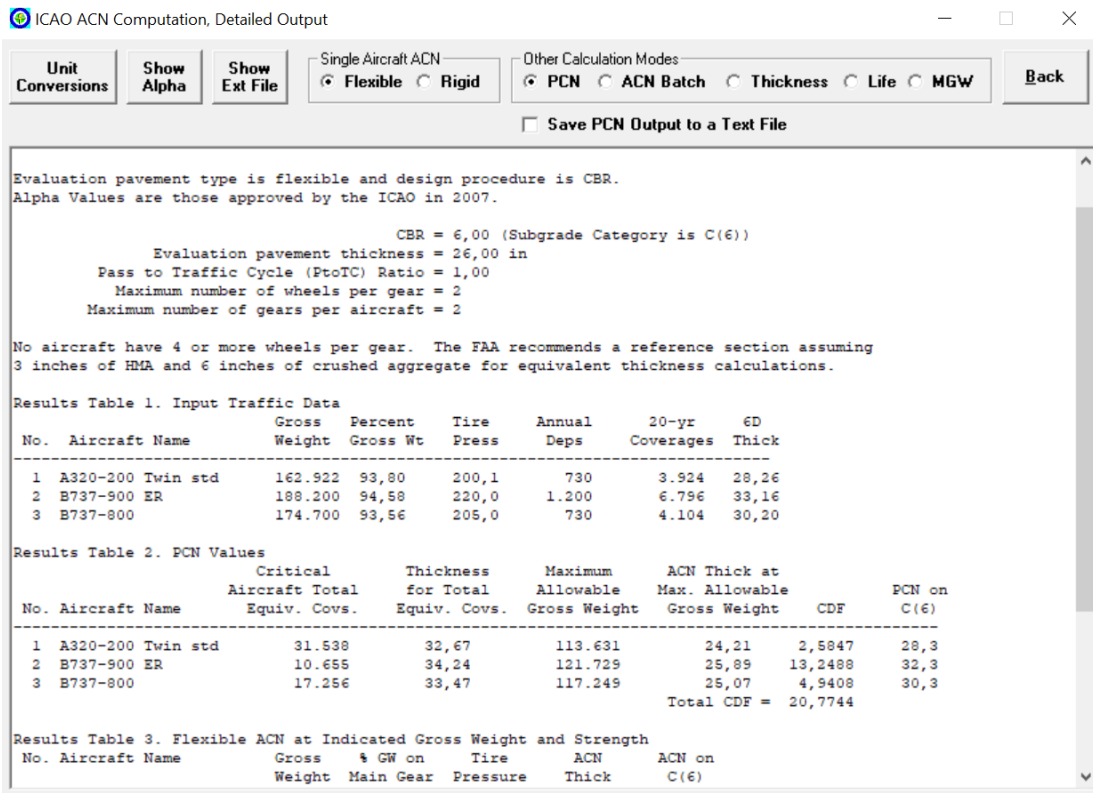
P-304 = CTB

P-208 = Batu pecah CBR 80%

Tanah = CBR minimal 8%

Gambar 4.3. Susunan perkerasan lentur menggunakan cara grafik

Analisis Pavement Coefficient Number (PCN) dengan alat bantu perangkat lunak COMFAA 3.0, PCN konstruksi tahap ultimate di targetkan 30 F/C/W/T. Hasil analisis tebal konstruksi perkerasan 34 inchi dengan program bantu COMFAA 3.0 didapatkan nilai PCN 75 F/C/W/T hasil dari progam dapat dilihat pada **Gambar 4.4**.



Gambar 4.4. Hasil analisa PCN kontruksi perkerasan lentur

4.2.2. Perhitungan perkerasan lentur metode FAA AC (*Advisory Circular*) 150_5320_6G Program bantu FAARFIELD V 2.0.7

Berdasarkan dari perhitungan Program bantu COMFAA, di dapatkan nilai PCN adalah PCN 32 F/C/W/T, yang berarti harga dari PCN tersebut dapat kita ketahui nilai daya dukung tanah dasar. Nilai CBR rencana tanah dasar adalah 8%. Kemudian masukan data – data pesawat rencana yang beroperasi dan total kedatangan per tahun dapat dilihat pada **Gambar 4.5**. Masukan material rencana yaitu:

P-401 = Hot mix aspal

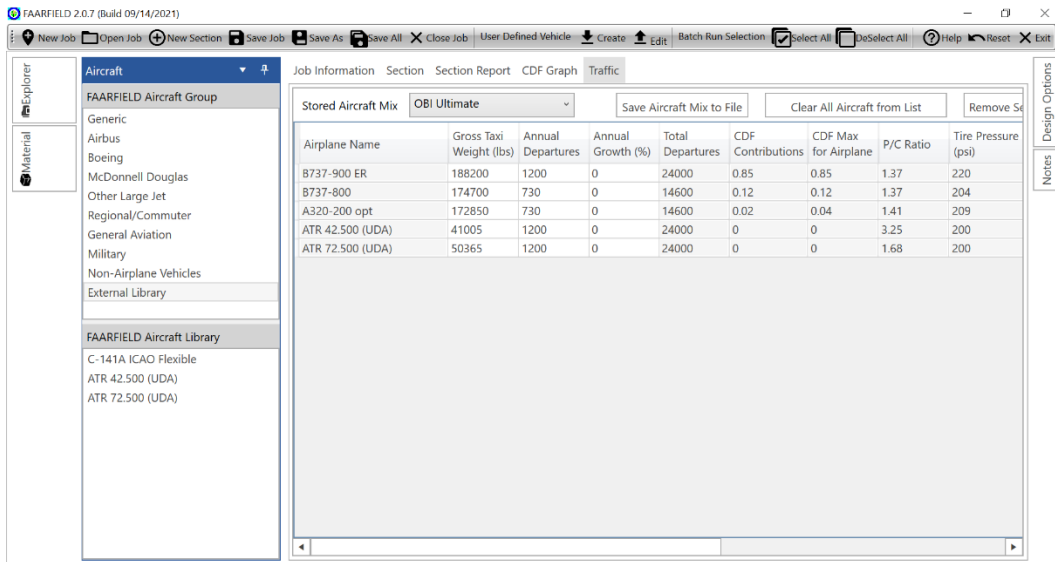
P-304 = CTB

P-208 = Batu pecah CBR 80%

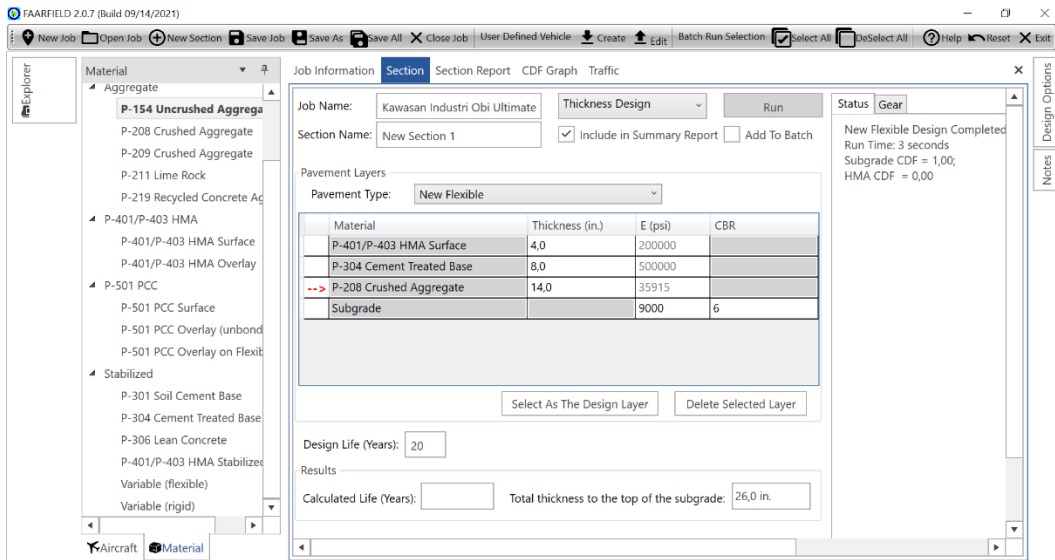
Tanah = CBR minimal 8%

Yang dapat pada **Gambar 4.6**. setelah dilakukan perhitungan dan memasukan data-data yang ada, didapatkan tebal perkerasan lentur 26 Inchi yang dapat dilihat pada **Gambar 4.8**. Untuk grafik Jarak roda pendaratan utama setiap pesawat dari garis

mempengaruhi tingkat kerusakan perkerasan akibat roda (*Cummulative Dammage Factor*) dapat dilihat pada **Gambar 4.7.** dibawah



Gambar 4.5. Pesawat rencana pada saat tahap ultimate



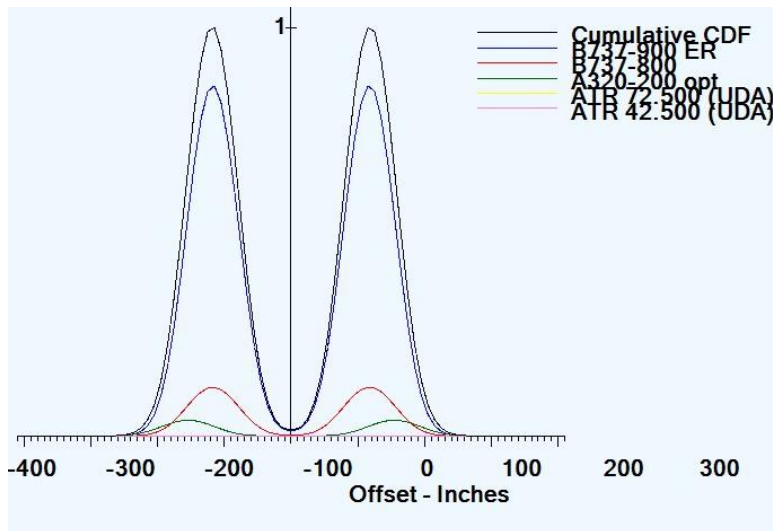
Gambar 4.6. Material rencana perkerasan pada saat tahap ultimate

Hasil dari perhitungan dari program bantu FAARFIELD total perkerasan lentur adalah 26 inch, yang dapat dilihat pada **Tabel 4.8.**

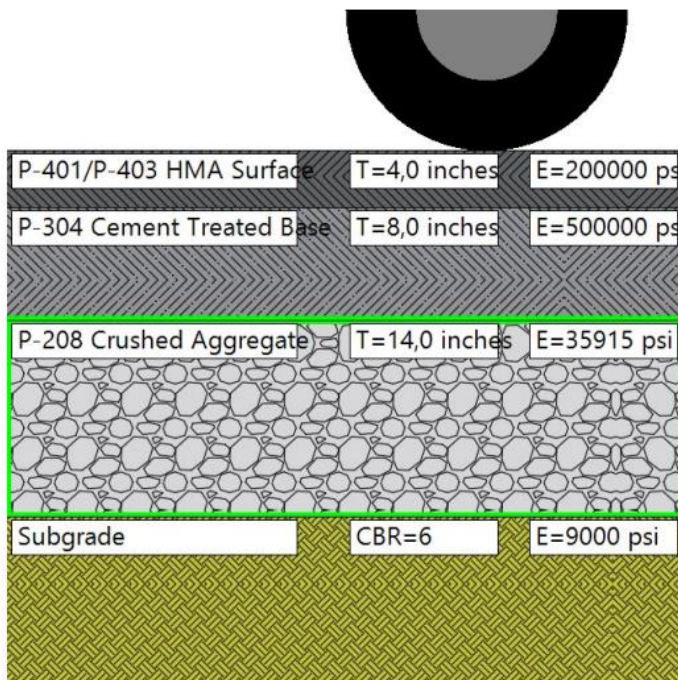
Tabel 4.8. Susunan perkerasan lentur dengan Program bantu FAARFIELD

Layer	Inchi	cm	Modulus	Poisson's ratio
Surface Course (P-401/P-403 Hot mix Asphalt) HMA	4	10	200000	0,35

Base Course (P-304 Cement Treated Base) CTB	8	20	500000	0,2
Subbase Course (P-208 Crushed Aggregate)	14	33	35915	0,35
Total	26	66		



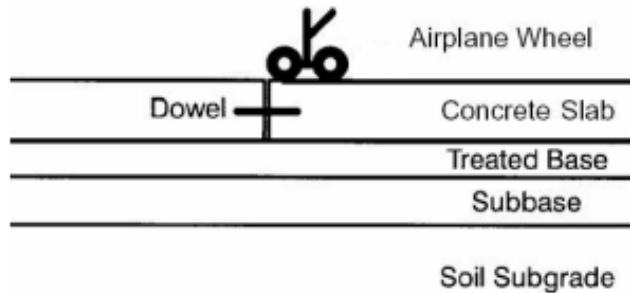
Gambar 4.7. Cummulative Dammage Factor (CDF) Komulatif perkerasan lentur



Gambar 4.8. Susunan perkerasan lentur mnggunakan Program bantu FAARFIELD

4.2.3. Perhitungan perkerasan kaku metode *US Army Corp Engineers* (Grafik)

Perkerasan kaku dikonstruksi atas lapisan pelat beton P-501 (PCC), treated base, dan sub-base P-208 diatas tanah asli seperti pada **Gambar 4.9**.



Gambar 4.9. Kontruksi perkerasan kaku

Perkerasan kaku di dasarnya pada kekuatan lentur lapisan beton, menurut Direktur Jendral Pehubungan Udara, 2015 dalam KP 93 pasal 6.2.2.2 (iii) persamaan 6.4 menyatakan besarnya kekuatan lentur slab beton adalah

$$f_r = 9\sqrt{f'_c}$$

dimana f_r adalah kekuatan lentur beton dan f'_c adalah kuat tekan ijin silinder Benton (0,83 kuat tekan kubus beton) dalam Psi (*Pounds Square Inchi*).

Mutu beton K.400 setara dengan $f'_c = 33,2$ MPa, atau $33,2 \times 145,1362 = 4818,522$ Psi dan $f_r = 9\sqrt{4818,522} = 624,7402$ Psi. Data perencanaan perkerasan kaku landas pacu disajikan pada **Tabel 4.8**. dibawah

Tabel 4.9. Data perencanaan perkerasan kaku landas pacu

Uraian	Satuan	Nilai	Ket.
Umur rencana	Tahun	20,00	Rencana
<i>Subgrade</i> CBR rencana	%	8,00	Master Plan
Kuat tekan f'_c	MPa (Psi)	33,2 (4818,522)	
Kuat lentur f_r	MPa (Psi)	5,18 (624,7402)	

FAA AC 150/5320 pasal 205.a.(4) merumuskan hubungan antara modulus reaksi *Subgrade* dengan CBR sebagai berikut

$$k = \left(\frac{1500 \text{ CBR}}{26} \right)^{0,7788}$$

$$= \left(\frac{1500 \times 8}{26} \right)^{0,7788}$$

$$= 118,8188 \text{ Pci (Pounds Cubik Inchi)}$$

Pondasi direncanakan terdiri atas lapis CTB P-304 (*Cement Treated Base*) dengan tebal 6 Inchi dan Lapis batu pecah P-208 tebal 6 Inchi, sehingga total tebal pondasi adalah

P-304 (*Cement Treated Base*) = 6 Inchi

P-208 (Batu pecah) = 6 Inchi

= 12 Inchi

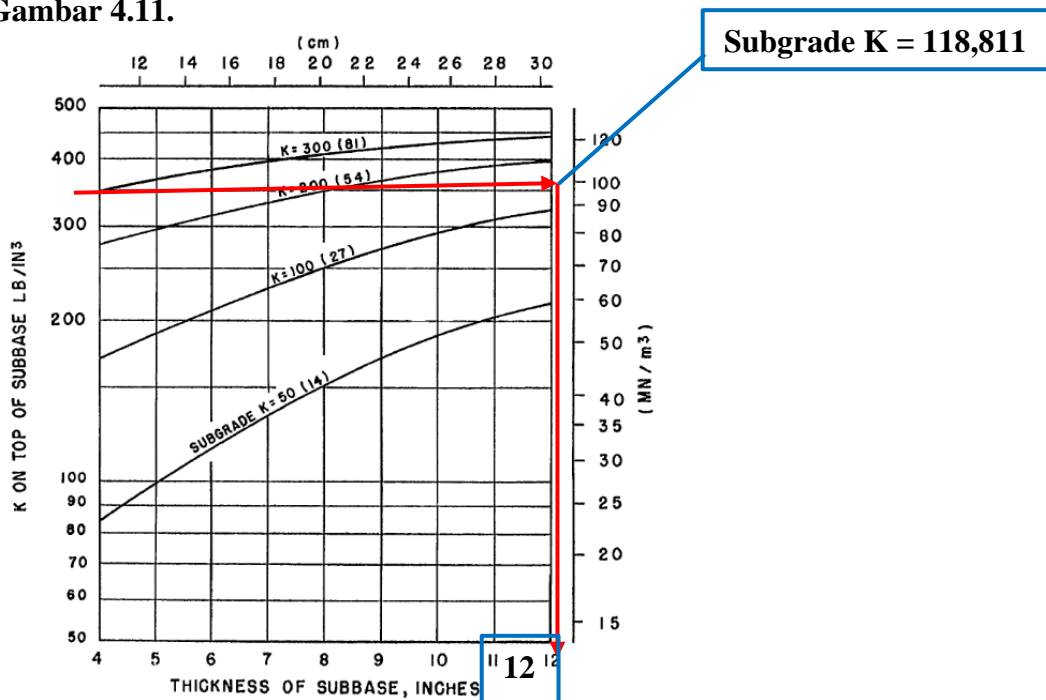
Modulus reaksi *Subgrade*, k = 118,811 Pci

Modulus reaksi bawah permukaan slab beton, k = 330 Pci

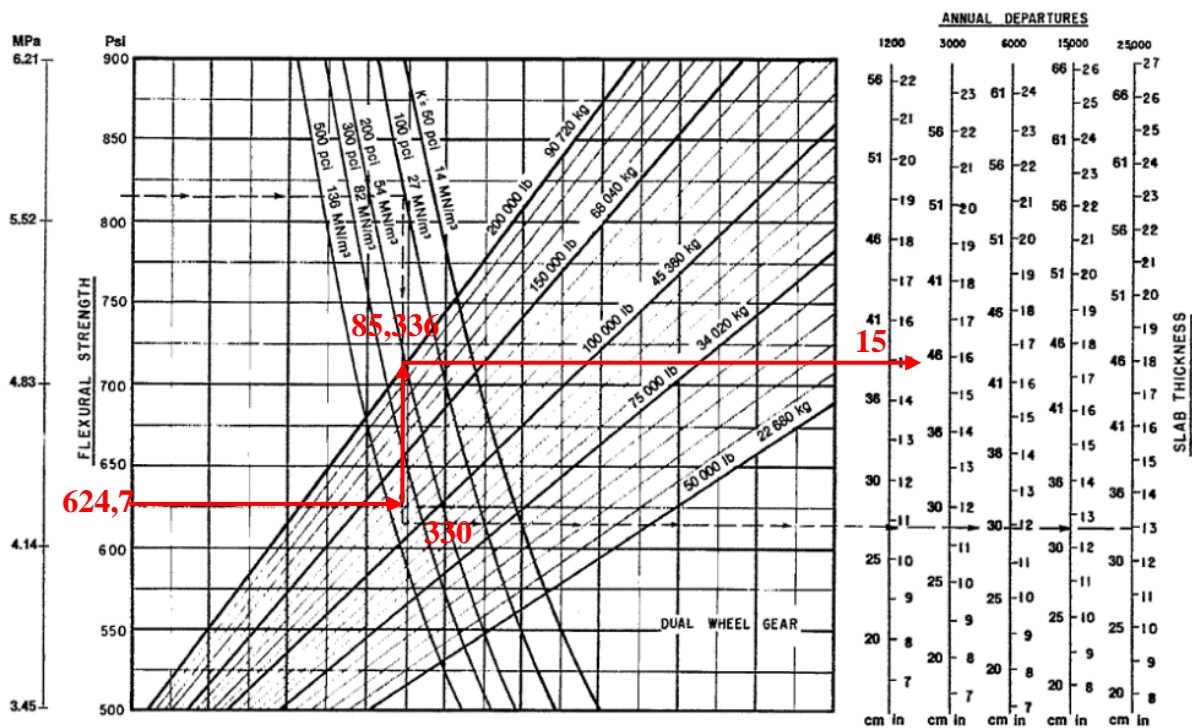
Tebal pelat beton perkerasan kaku tidak kurang dari tebal dalam **Tabel 3.5**.

1. Penentuan tebal perkerasan kaku dengan metode metode *US Army Corp Engineers* (Grafik)

Tebal pelat beton perkerasan kaku tidak kurang dari **Tabel 3.5**. Tebal plat beton metode klasik berdasarkan pengeplotan pada grafik dari nilai – nilai K =330 Pci. MTOW = 85,366 kg dan *Annual Departure* 1200 dapat dilihat pada **Gambar 4.10**. untuk lapis pondasi dan kurva perencanaan perkerasan kaku dapat dilihat pada **Gambar 4.11**.



Gambar 4.10. Pengaruh pondasi terstabilisasi pada modulus subgrade



Gambar 4.11. Kurva perencanaan perkerasan kaku untuk pesawat terbang roda pendaratan tipe *dual wheel gear*

Tebal perkerasan ekuivalen dihitung dan nilai efektif modulus pondasi 330 Pci dengan perangkat lunak ms.excel COMFAA-30-Suport- AC5335-5C-8-18-17 besarnya adalah 15 inchi dapat dilihat pada **Gambar 4.12**.

Ref. AC 150/5335-5C Appendix B Rigid Pavement Structure Items	Existing Rigid Pavement Layers	ENTER Existing Layer Thickness	Evaluation Layer Thickness	Improved k-value
Figure A2-7	P-401 Overlay(s)	0,0 in./2,5	0,0	Overlay to P-501, 2,5 to 1 Foundation k= Maximum k- Below or Input k
Rigid Pavement Thickness	P-501	14,5 in.	14,5	
ThirdPoint Flexural Strength	Flexural strength	624,7 psi		
Figure A2-6, default maximum k-value = 500 lb/in ³ . (135,7 MN/m ³) OR input k-value if greater.	P-401 and/or P-403	0,0 in.		300
	P-306	0,0 in.	6,0	
	P-304	6,0 in.		
	P-209	6,0 in.	6,0	
Combined Top and Bottom Figure A2-5.	P-208 and/or P-211	0,0 in.		180
	P-301	0,0 in.	0,0	
	P-154	0,0 in.	0,0	
COMFAA Inputs		Subgrade k-value	118,8 lb/in ³	26,50 300,00
k-value = 300,0 lb/in ³ Rigid Pavement t = 14,5 in. Flexural strength = 624,7 psi Recommended PCN Codes: R/B/W		<input type="checkbox"/> English <input checked="" type="checkbox"/> Metric <input type="button" value="Clear Saved Data"/> <input type="button" value="Zero Layer Data"/> <input type="button" value="Format Chart"/> <input type="button" value="Save Data"/> Enter Project Details KAWASAN INDUSTRI OBI <input type="text"/> Arpt LOC-ID <input type="text"/> Enter LOC-ID <input type="text"/> Pavement ID <input type="text"/> Enter Pave ID		
		Existing Pavement Equivalent Pavement Depth from Surface, in. 0 5		

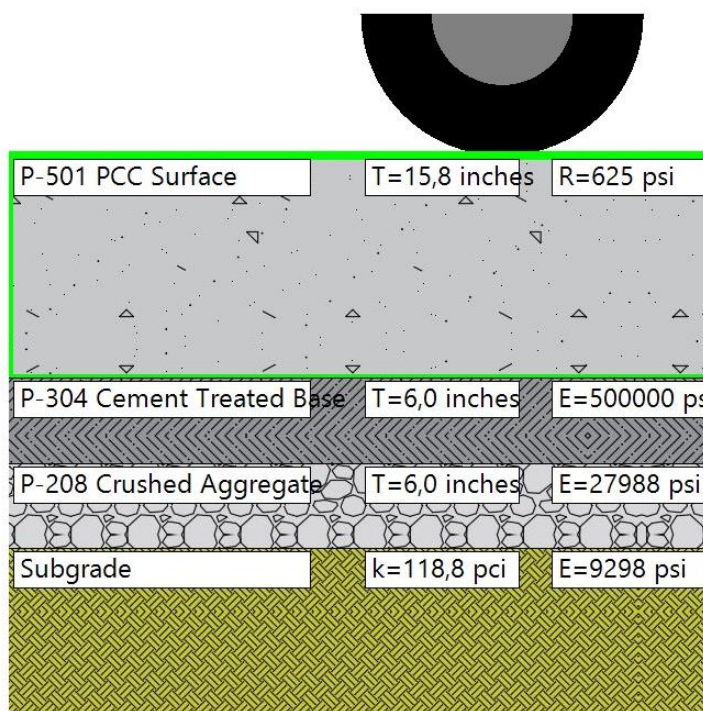
Gambar 4.12. Perhitungan perkerasan kaku Spread Sheet COMFAA Suport

4.2.4. Perhitungan perkerasan kaku metode FAA AC (Advisory Circular) 150_5320_6G Program bantu FAARFIELD V 2.0.7

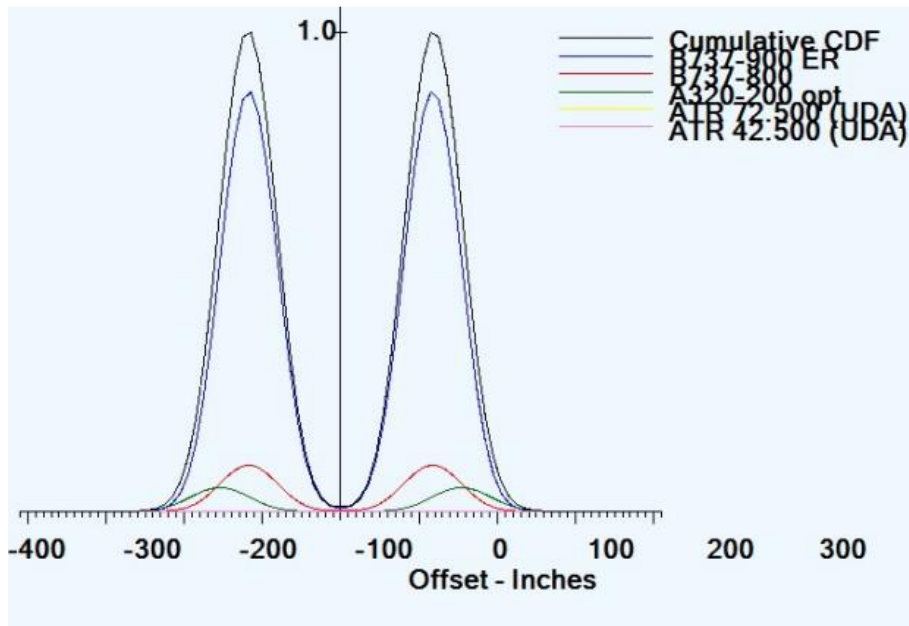
Analisis CFD kontruksi perkerasan kaku digunakan dengan perangkat lunak FAARFIELD V 2.0.7 diperoleh tebal perkerasan kaku tahap ultimate tebal beton P-501 PCC Surface 15,8 Inchi, P-304 Cement Treated Base 6 Inchi, dan batu pecah P-208 Crushed Aggregate 6 Inchi dengan CDF = 1,0, dapat dilihat pada **Gambar 4.13.** dan CDF komulative pada **Gambar 4.14.**

Tabel 4.10. Susunan perkerasan kaku dengan Program bantu FAARFIELD

Layer	Inchi	cm	Modulus	Poisson's ratio
Surface Course (P-501 PCC Surface)	15,8	40,128	4000000	0,15
Base Course (P-304 Cement Treated Base) CTB	6	15,24	500000	0,2
Subbase Course (P-208 Crushed Aggregate)	6	15,24	27988	0,35
Total	27,8	70,6		

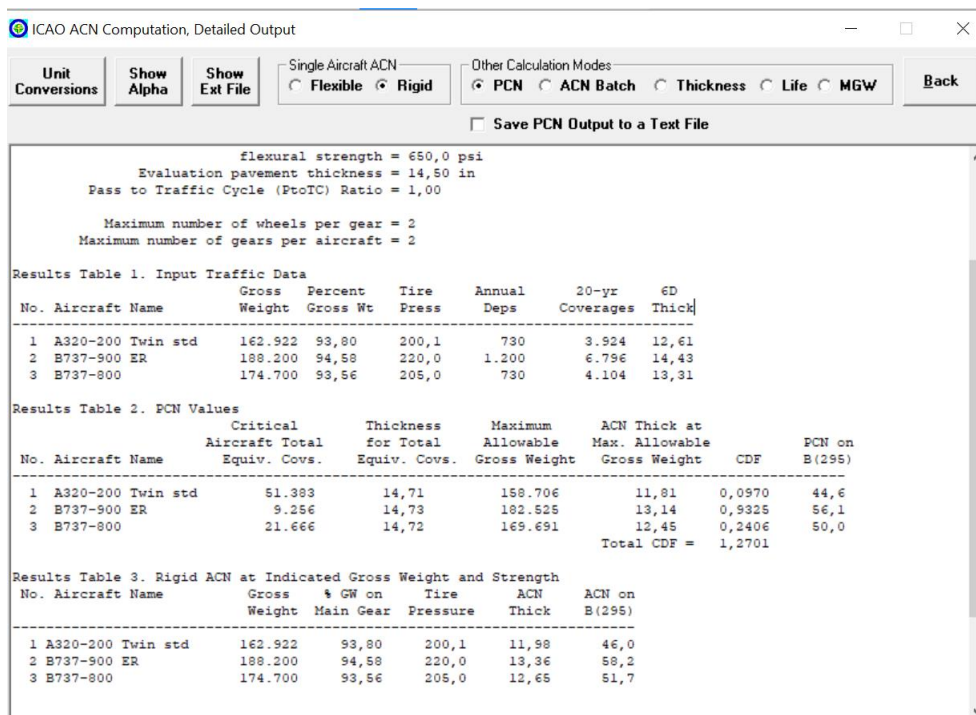


Gambar 4.13. Susunan perkerasan kaku menggunakan Program bantu FAARFIELD



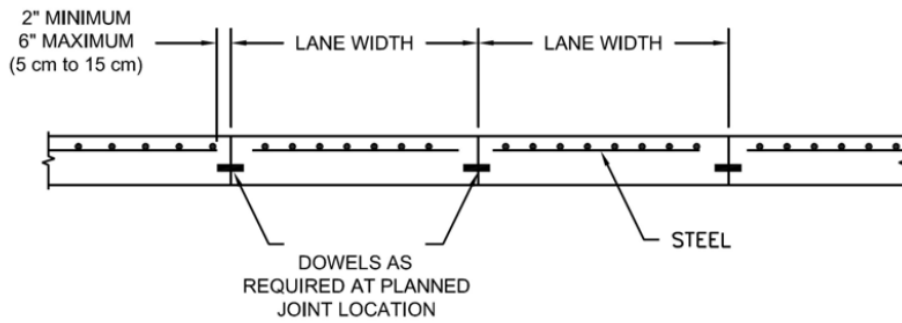
Gambar 4.14. Cumulative Damage Factor (CDF) Komulatif perkerasan kaku

PCN konstruksi perkerasan rencana atas target yang dibutuhkan pesawat maksimum yaitu 56 R/C/W/T. Hasil analisis PCN konstruksi perkerasan tahap ultimate adalah 15 inchi di dapatkan 56 R/C/W/T, dapat dilihat pada **Gambar 4.15**.



Gambar 4.15. Hasil analisa PCN konstruksi perkerasan kaku

1. Penentuan tulangan



Gambar 4.16. Rencana konstruksi perkerasan kaku slab beton bertulang

Digunakan besi tulangan susai ketentuan dalam SNI 07-2052-2002 tabel 6 kelas baja tulangan BJTS30 dimana tegangan ulur 235 MPa (34107 psi), tegangan tarik batas 380 MPa (55151 psi) dan regangan 18% setara dengan ASTM A616. Menurut ICAO Doc 9157 part 3 pasal 4.4.25.3 luas tulangan yang diperlukan untuk perkerasan kaku ditentukan berdasarkan kombinasi persamaan hisapan subgrade dan gesekan sebagai berikut,

$$A_s = \frac{3,7L\sqrt{L.t}}{f_s}$$

Tulangan beton

Untuk $L = 25$ inch, $t = 15,81$ inch, dan $f_s = 2/3f_y = 22738$ psi. Perhitungan tulangan tertanam (*embedment*) dalam beton didapatkan diameter tulangan 8 mm, Tabel 2-34. FAA AC 150/5320-6e tabel 3-19 tercantum diameter minimum tulangan 9.5 mm dengan batang ulir (*deformed*). Besi tulangan diameter 10 mm batang profil digunakan sebagai tulangan perata.

Data masukan	Satuan	Matrik	Britis
Besi		BJTP24	
Modulus elastisitas baja	E_s Mpa/psi	: 200000.00	29027231.24
Poisson	ν_s	0.20	0.20
Modulus geser baja	G_s Mpa/psi	: 75790.90	11000000.00
Tegangan leleh baja	f_y Mpa/psi	: 235.00	34107.00
Tegangan ijin baja	f_u Mpa/psi	: 380.00	55151.74
Beton		fc'31	
Modulus elastisitas beton	E_c Mpa/psi	: 26179.46	3824948.20

Poisson	v_c		0.25	0.25
Modulus geser beton	G_c	Mpa/psi :		
Kuat tekan beton	f'_c	Mpa/psi :	31.03	4502.99
Kuat lentur beton	f_f	Mpa/psi :		
Tebal slab beton	h	cm/inch :	20.32	8.00

Tabel 4.11 Tulangan Perata Beban Perkerasan Helipad

L(feet)	t(inch)	fs (psi)	As(inch ²)	d	
				inch	mm
25	8	22738.00	0.058	0.27	7

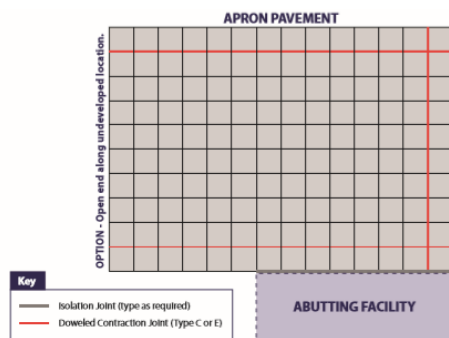
Keterangan

$$A_s = \frac{3,7L\sqrt{L.t}}{f_s}$$

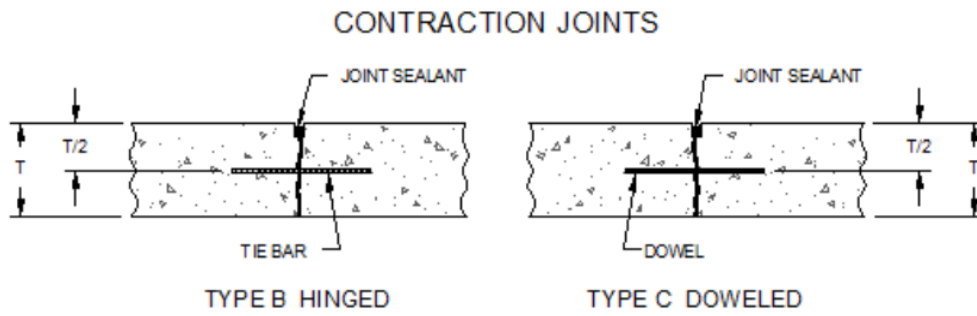
As = luas tulangan
d = diameter tulangan
fs = tegangan ijin besi
L = panjang pelat (jarak sambungan pelat) perkerasan beton
t = tebal pelat perkerasan beton

2. Perencanaan Sambungan

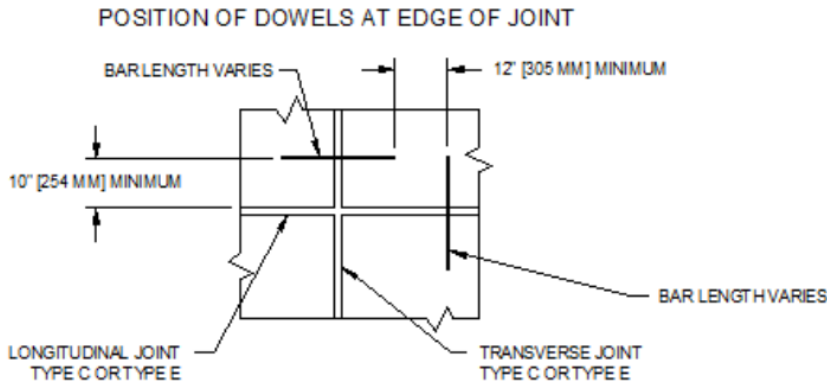
Perkerasan Apron dibagi menjadi panel-panel pelat beton dengan ukuran 7.5 m x 7.5 m. Sambungan diantara panel-panel digunakan sambungan tipe B dan tipe C. Sambungan tipe B merupakan sambungan menggunakan tiebar, sedangkan sambungan tipe C menggunakan menggunakan dowel, **Gambar 4.17.** s/d **Gambar 4.20.**



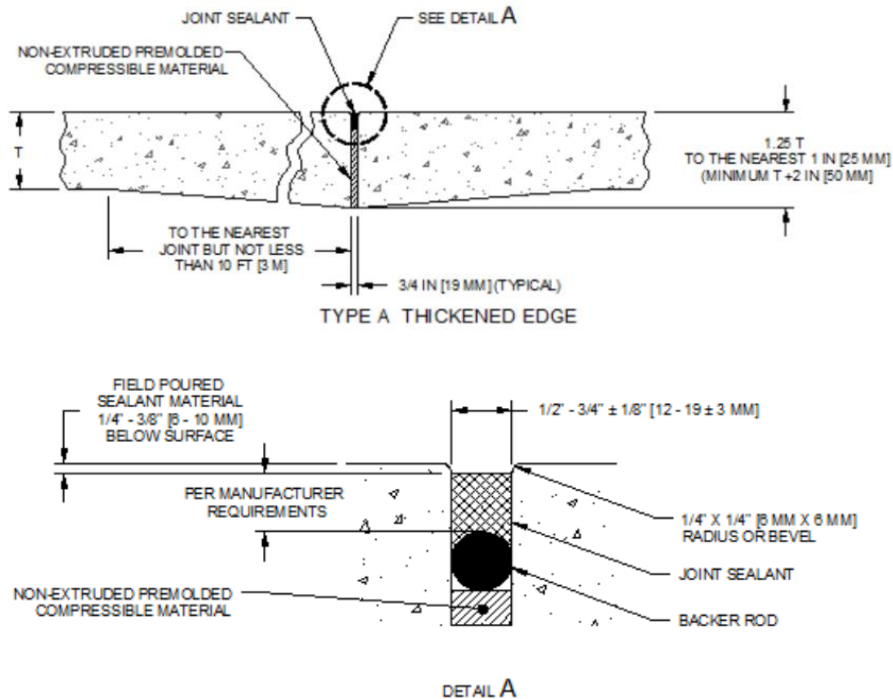
Gambar 4.17. Denah dan Tipe Sambungan Perkerasan Kaku



Gambar 4.18. Detail joint tipe B dan C Tipe Perkerasan Kaku



Gambar 4.19. Posisi dowel pada tepi sambungan



Gambar 4.20. Detail joint tipe A Tepi Perkerasan Kaku

Tiebar

Digunakan besi tulangan susai ketentuan dalam SNI 07-2052-2002 tabel 6 kelas baja tulangan BJTP40 dimana tegangan ulur 390 MPa (56603 psi), tegangan tarik batas 500 MPa (72568 psi) dan regangan 18% sejenis baja ASTM Tiebar per feet hasil perhitungan persamaan Packard, 1995 adalah besi dengan diameter 11 mm, dan panjang Tiebar adalah 27,35 inch. FAA AC 150/5320-6E pasal 334a. tiebar tidak difungsikan sebagai alat untuk mentransfer beban. Transfer beban dilakukan oleh interlocking agregad pada retakan dibawah sambungan tipe grove. Batang harus tipe strip (*deformed bar*) sebagaimana disyaratkan dalam P-501. Diameter batang seharusnya 5/8 inchi (16 mm) dan berjarak 30 inchi (762 mm). FAA AC 150/5320-6F, tebal pelat lebih dari 6 inch (150 mm) digunakan Tiebar dari batang profile no. 5 (16 mm) panjang 30 inch (762 mm) berjarak pcp 30 inch.

Data masukan		Satuan		Matrik	Britis
Besi				BJTP40	
Modulus elastisitas baja	E_s	Mpa/psi	:	200000.00	29027231.24
Poisson	ν_s			0.20	0.20
Modulus geser baja	G_s	Mpa/psi	:	75790.90	11000000.00
Tegangan leleh baja	f_y	Mpa/psi	:	390.00	56603.10
Tegangan ijin baja	f_u	Mpa/psi	:	500.00	72568.08
Beton				fc'31	
Berat beton	w	kg/m3(pcf)		2500.00	156.07
Modulus elasitas beton	E_c	Mpa/psi	:	26179.46	3824948.20
Poisson	ν_c			0.25	0.25
Modulus geser beton	G_c	Mpa/psi	:		
Kuat tekan beton	f'_c	Mpa/psi	:	31.03	4502.99
Kuat lentur beton	f_f	Mpa/psi	:	4.16	603.94
Tebal slab beton	h	cm/inch	:	40.01	15.75
Jarak sambungan	S	cm/feet		600.00	19.69

Tabel 4.12 Perhitungan kebutuhan luas tiebar

b(feet)	Cf	t(inch)	fs (psi)	w(Pcf)	As(inch 2)	Diameter	
						inch	mm
25.00	1.50	15.63	37735.40	156.07	0.202	0.51	13
Keterangan $A_s = \frac{b C_f w h}{12 f_s}$ A _s : luas tulangan tiebar b : jarak sambungan pelat beton				c _f : koefisien gesekan beton dan subgrade (C _f =1.5) d : diameter besi tie bar f _s : tegangan tarik ijin besi tiebar w : berat isi beton normal			

Dan panjang Tiebar dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut :

Db (inch)	fs (psi)	Ls (inch)
0.51	37735.40	30.34
keterangan $L_s = 1/2 \frac{f_s d_b}{350^*} + 3$ d _b : diameter batang ulir tie bar f _s : tegangan tarik ijin baja L _s : panjang tie bar		

Dowel

FAA AC 150/5320-6E tabel 3-13 menyatakan bahwa tebal pelat beton perkerasan 12.5-16 inchi (318-406 mm) digunakan dowel dengan diameter 1.25 inchi (300 mm) berjarak 15 inchi (380 mm). Perhitungan tegangan ijin pada batang dowel diperoleh kondisi aman pada diameter dowel 1.5 inch (38.1 mm) berjarak 9.8 inch (25 cm).

Data masukan	Satuan	Matrik	Britis
Besi		BJTP40	
Modulus elastisitas baja	E _s	Mpa/psi	: 200000.00 29027231.24
Poisson	v _s		0.20 0.20

Modulus geser baja	G_s	Mpa/psi	: 75790.90	11000000.00
Tegangan leleh baja	f_y	Mpa/psi	: 235.00	34107.00
Tegangan ijin baja	f_u	Mpa/psi	: 380.00	55151.74
Jarak dowel	b	cm/inch	: <u>25.00</u>	<u>9.84</u>
Diameter dowel	D_d	cm/inch	: <u>3.81</u>	<u>1.50</u>
Panjang dowel	L_d	cm/ inch	: 45.92	18.08
Luas penampang dowel	A_d	cm ² /inch ²	: 11.40	1.77
		cm ³ /		
Momen inersia dowel	I_d	inch ³	: 10.34	0.25
Beton			$f_c'32$	
Modulus elastis beton	E_c	Mpa/psi	: 26179.46	3824948.20
Poisson	ν_c		0.25	0.25
Modulus geser beton	G_c	Mpa/psi	:	
Kuat tekan beton	f'_c	Mpa/psi	: 31.03	4502.99
Kuat lentur beton	f_f	Mpa/psi	: 4.16	603.94
Tebal slab beton	h	cm/inch	: 40.59	15.98
Lebar celah sambungan	z	cm/inch	: 0.64	0.25
		kg cm ⁻		
Modulus subgrade	k	³ /Pci	: 8.17	295.00
Modulus dowel dalam		kg cm ⁻		
beton	K_0	³ /Pci	: 41519.86	1500000.00
MTOW		kg/lb	85366.01	188200.00
Beban roda	P_w	kg/lb	20274.43	44697.50

Tabel 4.13 Langkah I

Unit	Kekakuan relatif dowel beton	Radius kekakuan subgrade, l_r (in/ cm)	Jumlah dowel, n (batang)		Beban tiap dowel (lb/ton)	
			Aktual	Effektif	Pt	Pc
British	0.52844	46.569	5	2.89	20113.88	4214.17
Metric	0.37184	66.071	3	1.73	9123.49	5274.53
$k = \left(\frac{1500CBR}{26} \right)^{-0,7788}$ $l_r = \sqrt[4]{\frac{E_c h^3}{12(1 - \nu^2)k}}$ $K_0 = 0,80 \sqrt[12]{\frac{E_c d^4}{16E_s I_d (1 - \nu_c^2)}}$			$\beta = \sqrt[4]{\frac{K_0 d}{4E_d I_d}}$ $P_t = 0,45P_w$ $n = \frac{l_r}{b}$		$n_{eff} = 1 + \sum_{i=1}^{n-1} \frac{P_c}{l_r} \cdot b \cdot i$ $P_c = \frac{P_t}{n_{eff}}$	

Tabel 4.14 Langkah II

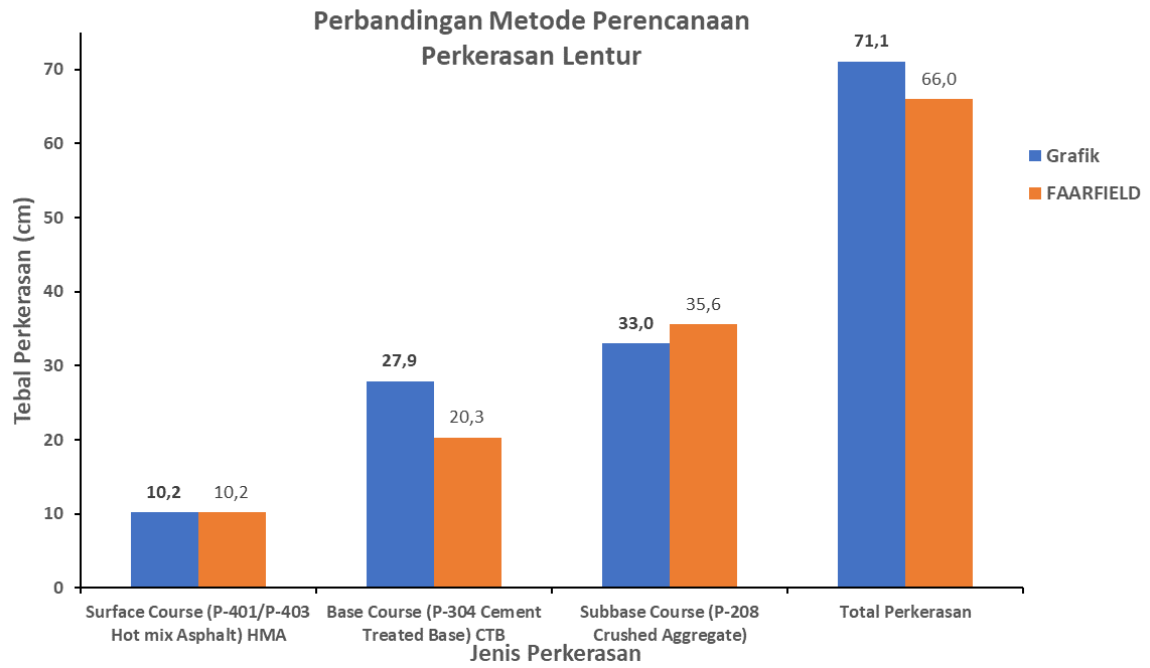
Lendutan dowel, y_0	Geser dowel	Teg. dowel, σ_b	Teg. Ijin, f_b	Kontrol $\sigma_b < f_b$
2.110.E-03 inch	6.02.E-05 inch	3165.38 psi	3752.50 psi	ok
5.360.E-03 cm	1.530.E-04 cm	222.55 kg/cm ²	263.83 kg/cm ²	ok
$\delta = \frac{\lambda P_t z}{A \cdot G}$ $y_0 = \frac{P_t (1 - \beta \cdot z)}{4\beta^3 E_d I_d}$ $\Delta = 2y_0 + \delta$		$\sigma_b = K_0 \cdot P_c \frac{(2 + \beta \cdot z)}{4\beta^3 E_d I_d}$ $f_b = \frac{(4 - d)f'_c}{3}$		

4.3. Perbandingan Tebal Perkerasan Metode *Us Corporation of Engineers* (Grafik) dan FAA AC (Advisory Circular) 150_5320_6G (FAARFIELD)

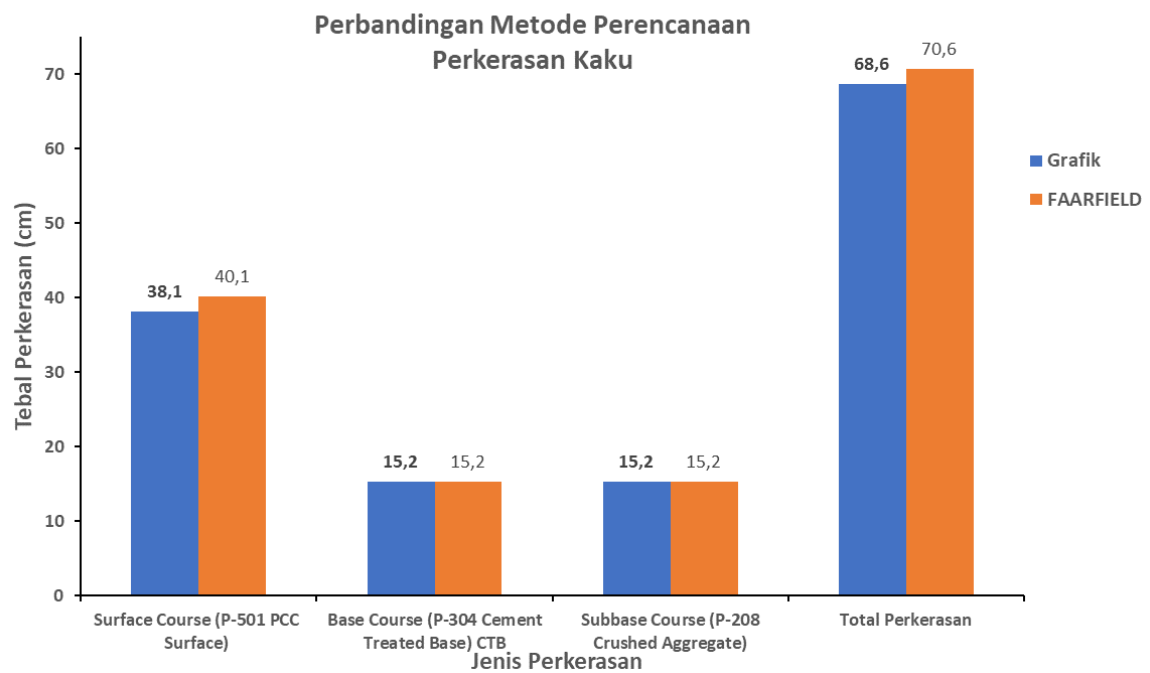
Dari hasil kedua cara perencanaan perhitungan tebal perkerasan bandar udara, yaitu metode *Us Corporation of Engineers* (Grafik) dan FAA AC (*Advisory Circular*) 150_5320_6G (FAARFIELD) terlihat beberapa perbedaan yang dapat dilihat pada **Tabel 4.15.** dan disajikan dalam bentuk grafik pada **Gambar 4.21.** untuk perkerasan lentur dan **Gambar 4.22.** untuk perkerasan kaku

Tabel 4.15 Perbandingan hasil tebal perkerasan

No	Jenis Perkerasan	Hasil Perhitungan					
		<i>US corporation of enginners</i>		<i>FAA AC (Advisory Circular) 150_5320_6G</i>		Selisih	PCN
		Grafik		FAARFIELD			
		CBR 8%					
		Ichi	cm	Ichi	cm	%	
I	<i>Flexible</i> (Lentur)						
1	<i>Surface Course</i> (P-401/P-403 <i>Hot mix Asphalt</i>) HMA	4,0	10,2	4,0	10,2	0,0%	32 F/C/W/T
2	<i>Base Course</i> (P-304 <i>Cement Treated Base</i>) CTB	11,0	27,9	8,0	20,3	7,6%	
3	<i>Subbase Course</i> (P-208 <i>Crushed Aggregate</i>)	13,0	33,0	14,0	35,6	2,5%	
	Total Perkerasan	28,0	71,1	26,0	66,0	5,1%	
II	<i>Rigid</i> (Kaku)						
1	<i>Surface Course</i> (P-501 <i>PCC Surface</i>)	15,0	38,1	15,8	40,1	2,0%	56/R/C/W/T
2	<i>Base Course</i> (P-304 <i>Cement Treated Base</i>) CTB	6,0	15,2	6,0	15,2	0,0%	
3	<i>Subbase Course</i> (P-208 <i>Crushed Aggregate</i>)	6,0	15,2	6,0	15,2	0,0%	
	Total Perkerasan	27,0	68,6	27,8	70,6	2,0%	



Gambar 4.21. Perbandingan metode perkerasan lentur



Gambar 4.22. Perbandingan metode perkerasan kaku

4.3.1. Analisa Hasil

Selisih perhitungan grafis dengan program bantu FAARFIELD adalah untuk perkerasan lentur adalah 7,1% atau 5,1 cm, sehingga hasil perhitungan grafis lebih tebal dibandingkan dengan metode program bantu FAARFIELD. Sedangkan pada perkerasan kaku mempunyai selisih 3% atau 2 cm, metode program bantu FAARFIELD lebih tebal dari metode grafis.

Hasil yang didapat dari masing – masing cara memiliki perbedaan pada tiap-tiap lapisan hal inid disebabkan oleh beberapa faktor yaitu:

- a. Pada metode program bantu FAARFIELD, beban pesawat diperhitungkan semua sebagai penyumbang kerusakan perkerasan yang ditunjukkan oleh nilai CDF, berbeda halnya dengan cara grafis yang pesawat – pesawatnya dikonversi menjadi pesawat rencana. Dari hasil perhitungan menggunakan program bantu FAARFIELD, nilai CDF adalah 1 yang artinya perkerasan mampu mengakomodasi beban pesawat yang maksimum (Boeing 737-800 dan Boeing 737-900 ER) sampai rencana 20 tahun.

- b. Nilai *surface course* kedua tebal perkerasan berbeda di karenakan pada cara grafis yang menggunakan grafik bergantung pada pesawat desain tipe roda *dual wheel gear*, maka diambil ketebalan kritis yang tertera pada grafik.

Tebal *base course* dengan menggunakan cara grafis lebih tebal dari pada menggunakan software FAARFIELD, hal ini disebabkan karena pada saat melakukan perhitungan, masukan nilai awal dari tebal perkerasan *base course* merupakan nilai minimum yang berdasarkan pada tabel minimum *base course* untuk penggunaan lapisan pondasi bawah (AC No.150_5320_6G).

Perhitungan dengan cara grafis memiliki kelemahan ketelitian dalam penarikan garis untuk nilai dari setiap parameter yang akan diplot ke grafik, sehingga hasil yang didapat bisa menjadi lebih besar ataupun lebih kecil.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan tebal perkerasan dengan menggunakan metode *US Army Corps Engineer* (Grafik) dan *Federal Aviation Administration* (FAA) dengan Program bantu FAARFIELD didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Variabel – variable yang mempengaruhi ketidaksamaan dalam kedua metode tersebut adalah penentuan jenis pesawat rencana, metode yang dilakukan, serta umur rencana.
2. Hasil perencanaan tebal lapis perkerasan lentur dengan menggunakan metode *US Army Corps Engineer* (Grafik) adalah 711 mm dengan rincian *Surface Course* (P-401/P-403 *Hot Mix Asphalt*) adalah 102 mm, *Base Course* (P-304 *Cement Treated Base*) adalah 279 mm, *Subbase Course* (P-208 *Crushed Aggregate*) adalah 330 mm dengan nilai PCN 32 F/C/W/T. Sedangkan perkerasan kaku adalah 686 mm dengan rincian *Surface Course* (P-501 *Pavement Cement Concrete*) adalah 381 mm, *Base Course* (P-304 *Cement Treated Base*) adalah 152 mm, *Subbase Course* (P-208 *Crushed Aggregate*) adalah 152 mm dengan nilai PCN 56 R/C/W/T.
3. Hasil perencanaan tebal lapis perkerasan lentur dengan menggunakan metode *Federal Aviation Administration* (FAA) dengan Program bantu FAARFIELD adalah 660 mm dengan rincian *Surface Course* (P-401/P-403 *Hot Mix Asphalt*) adalah 102 mm, *Base Course* (P-304 *Cement Treated Base*) adalah 203 mm, *Subbase Course* (P-208 *Crushed Aggregate*) adalah 356 mm dengan nilai PCN 32 F/C/W/T. Sedangkan perkerasan kaku adalah 706 mm dengan rincian *Surface Course* (P-501 *Pavement Cement Concrete*) adalah 401 mm, *Base Course* (P-304 *Cement Treated Base*) adalah 152 mm, *Subbase Course* (P-208 *Crushed Aggregate*) adalah 152 mm dengan nilai PCN 56 R/C/W/T.
4. Perbedaan tebal perkerasan paling besar 7,6 cm, pada lapisan *base course* jenis perkerasan lentur. Pada Program Bantu FAARFIELD, beban pesawat diperhitungkan semua sebagai penyumbang kerusakan perkerasan yang

ditunjukkan oleh nilai CDF yang mampu mengakomodasi beban pesawat, berbeda halnya dengan cara grafis yang pesawatnya dikonversi menjadi pesawat rencana. Tebal *base course* dengan menggunakan cara grafis lebih besar dibanding cara Program Bantu FAARFIELD, hal ini disebabkan pada saat melakukan perhitungan, nilai awal *base course* adalah nilai minimum yang berdasarkan tabel minimum *base course* untuk penggunaan material lapisan pondasi atas (AC No.150_5320_6G). Tebal perkerasan *surface course* adalah sama menurut ketentuan FAA untuk tebal kritis *surface course* yaitu sebesar 4 in atau 102 mm.

5.2. Saran

1. Pada perhitungan cara grafis, menggunakan grafik sebagai alat bantu perhitungan, penarikan garis mulai dari CBR, jumlah berat kotor pesawat, dan keberangkatan tahunan seharusnya dilakukan dengan hati-hati dan teliti serta menggunakan grafik yang lebih jelas untuk mengurangi faktor kesalahan.
2. Untuk segi ketepatan lebih baik memilih menggunakan Program Bantu FAARFIELD, sebab metode perhitungan dengan program bantu FAARFIELD, beban pesawat diperhitungkan semua sebagai penyumbang kerusakan perkerasan yang ditunjukkan oleh nilai CDF, berbeda halnya dengan cara grafis yang pesawat – pesawatnya dikonversi menjadi pesawat rencana. Dari hasil perhitungan menggunakan program bantu FAARFIELD, nilai CDF adalah 1 yang artinya perkerasan mampu mengakomodasi beban pesawat yang maksimum (Boeing 737-800 dan Boeing 737-900 ER) sampai rencana 20 tahun.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbondati, F., Biancardo, S. A., Palazzo, S., Capaldo, F. S., & Viscione, N. (2020). I-BIM for existing airport infrastructures. *Transportation Research Procedia*, 45(2019), 596–603. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.03.052>
- Abdessemed, M., Kenai, S., & Bali, A. (2015). Experimental and numerical analysis of the behavior of an airport pavement reinforced by geogrids. *Construction and Building Materials*, 94, 547–554. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.07.037>
- ASTM C-78. (2002). Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)ASTM International. USA. *Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)ASTM International. USA, 04.02*, 1–3.
- Chen, Y., Cen, G., & Cui, Y. (2018). Comparative study on the effect of synthetic fiber on the preparation and durability of airport pavement concrete. *Construction and Building Materials*, 184, 34–44. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.06.223>
- de Souza, N. M., & de Almeida Filho, A. T. (2020). A systematic airport runway maintenance and inspection policy based on a delay time modeling approach. *Automation in Construction*, 110(December 2019), 103039. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.103039>
- Di Mascio, P., & Moretti, L. (2019). Implementation of a pavement management system for maintenance and rehabilitation of airport surfaces. *Case Studies in Construction Materials*, 11, e00251. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2019.e00251>
- Direktur Jendral Pehubungan Udara. (2015). *Pedoman Perhitungan PCN (Pavement Classification Number) Perkerasan Prasarana Bandar Udara*. 24.
- Djonli, Yusuf; Sjafrudin, A. (2012). *Desain Perencanaan Tebal Lapis Perkerasan Runway , Taxiway , Apron Bandara Internasional Kertajati , Majalengka*.
- FAA Airport Engineering Division. (2021). 150/5320-6G, Airport Pavement Design and Evaluation. *Federation Airport Assosiation*.
- Gu, G., Ma, T., Chen, F., Xu, F., & Zhang, J. (2022). Electromagnetic and mechanical

- properties of FA-GBFS geopolymer composite used for induction heating of airport pavement. *Cement and Concrete Composites*, 129(March), 104503. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2022.104503>
- ICAO. (2006). Doc 9157 AN/901: Aerodrome Design Manual Part 1: Runway, third edition. *Internasional Civil Aviation Organization*.
- ICAO, I. C. A. O.-. (1983). *ICAO 9157 Aerodrome Design Manual - Part 3 - Pavements*.
- ICAO, I. C. A. O.-. (2004). Aerodrome Design Manual - Part 4 - Visual Aids. In *ICAO Journal.: Vol. I* (Issue Doc 9157-AN/901).
- International Civil Aviation Organization. (2014). Adoption of Amendment 9 to Annex 14, Volume II. *ICAO*.
- Jamshidi, A., Kurumisawa, K., Nawa, T., & Hamzah, M. O. (2015). Analysis of structural performance and sustainability of airport concrete pavements incorporating blast furnace slag. *Journal of Cleaner Production*, 90(2015), 195–210. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.11.046>
- Kementerian Perhubungan Republik Indonesia, D. J. B. U. (2014). Studi Kelayakan Pemilihan Lokasi dan Rencana Induk Bandar Udara Baru. *Kemeterian Perhubungan*.
- Kementrian Perhubungan. (2019). *Laporan Rencana Teknik Terinci Bandar Udara Kolaka*.
- Lai, Y., Liu, Y., & Ma, D. (2014). Automatically melting snow on airport cement concrete pavement with carbon fiber grille. *Cold Regions Science and Technology*, 103, 57–62. <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2014.03.008>
- Long, X., Cen, G., Cai, L., & Chen, Y. (2018). Model experiment of uneven frost heave of airport pavement structure on coarse-grained soils foundation. *Construction and Building Materials*, 188, 372–380. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.08.100>
- Ma, X., Dong, Z., Chen, F., Xiang, H., Cao, C., & Sun, J. (2019). Airport asphalt pavement health monitoring system for mechanical model updating and distress evaluation under realistic random aircraft loads. *Construction and Building Materials*, 226, 227–237. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.07.174>

- Qu, B., Weng, X. zhong, Zhang, J., Mei, J. jie, Guo, T. xiong, Li, R. fei, & An, S. hua. (2017). Analysis on the deflection and load transfer capacity of a prefabricated airport prestressed concrete pavement. *Construction and Building Materials*, 157, 449–458. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.09.124>
- Rezky, Cok Nanda Late & Ahyudanari, E. (2016). Analisis Perbandingan Metode Desain Perkerasan Bandara Antara Metode Grafis dan FAARFIELD Studi Kasus Bandara Juanda. *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*, 121.
- Shi, X., Cai, L., Wang, G., Zhang, D., & Wu, A. (2020). A new measurement system to test the traffic volumes planar distribution of airport runway. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 166, 108207. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.108207>
- White, G. (2018). State of the art: Asphalt for airport pavement surfacing. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 11(1), 77–98. <https://doi.org/10.1016/j.ijprt.2017.07.008>
- White, G. (2019). Quantifying the impact of reclaimed asphalt pavement on airport asphalt surfaces. *Construction and Building Materials*, 197, 757–765. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.11.131>
- Xie, J., Niu, F., Su, W., Huang, Y., & Liu, G. (2021). Identifying airport runway pavement diseases using complex signal analysis in GPR post-processing. *Journal of Applied Geophysics*, 192(May), 104396. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2021.104396>
- Zhong, K., Sun, M., Liu, Z., & Zheng, K. (2020). Research on dynamic evaluation model and early warning technology of anti-sliding risk for the airport pavement. *Construction and Building Materials*, 239, 117820. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117820>

LAMPIRAN

Federal Aviation Administration FAARFIELD 2.0 Section Report

FAARFIELD 2.0.7 (Build 09/14/2001)

Job Name: Kelaka Utara Ultimate_Kaku

Section: New Section 1

Analysis Type: New Flexible

Last Run: Thickness Design 2022-05-12 08:14:19

Design Life = 20 Years

Total thickness to the top of the subgrade = 27,7in.

Pavement Structure Information by Layer

No.	Type	Thickness in.	Modulus psi	Poisson's Ratio	Strength R psi
1	P-401/P-403 HMA Surface	4,0	200000	0.25	0
2	P-304 Cement Treated Base	4,0	500000	0.2	0
3	P-208 Crushed Aggregate	17,7	45189	0.25	0
4	Subgrade	0	9000	0.25	0

Airplane Information

No.	Name	Gross Wt. Lbs	Annual Departures	% Annual Growth
1	B737-900 ER	188200	1200	0
2	B737-800	174700	730	0
3	A320-200 opt	172850	730	0
4	ATR 42-500 (UDA)	41005	1200	0
5	ATR 72-500 (UDA)	50345	1200	0

Additional Airplane Information

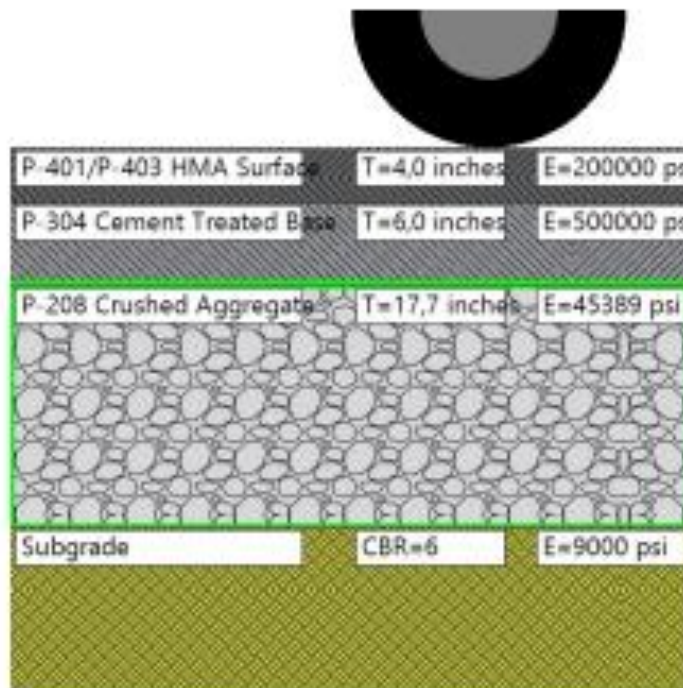
Subgrade CDF

No.	Name	CDF Contribution	CDF Max For Airplane	FCR Ratio
1	B737-900 ER	0,86	0,86	1,29
2	B737-800	0,12	0,12	1,29
3	A320-200 opt	0,02	0,04	1,26
4	ATR 42-500 (UDA)	0,00	0,00	2,55
5	ATR 72-500 (UDA)	0,00	0,00	1,53

HMA CDF

No.	Name	CDF Contribution	CDF Max for Airplane	F/C Ratio
1	E737-900 ER	0,00	0,00	2,70
2	E737-800	0,00	0,00	2,70
3	A320-300 opt	0,00	0,00	2,79
4	ATR 42-500 (LDA)	0,00	0,00	11,83
5	ATR 72-500 (LDA)	0,00	0,00	3,58

User is responsible for checking frost protection requirements.



Federal Aviation Administration FAARFIELD CDF Graph

FAARFIELD 2.0.7 (Build 09/14/2021)

Job Name: Kolaka Utara Ultimate_Kaku

Section: New Section 1

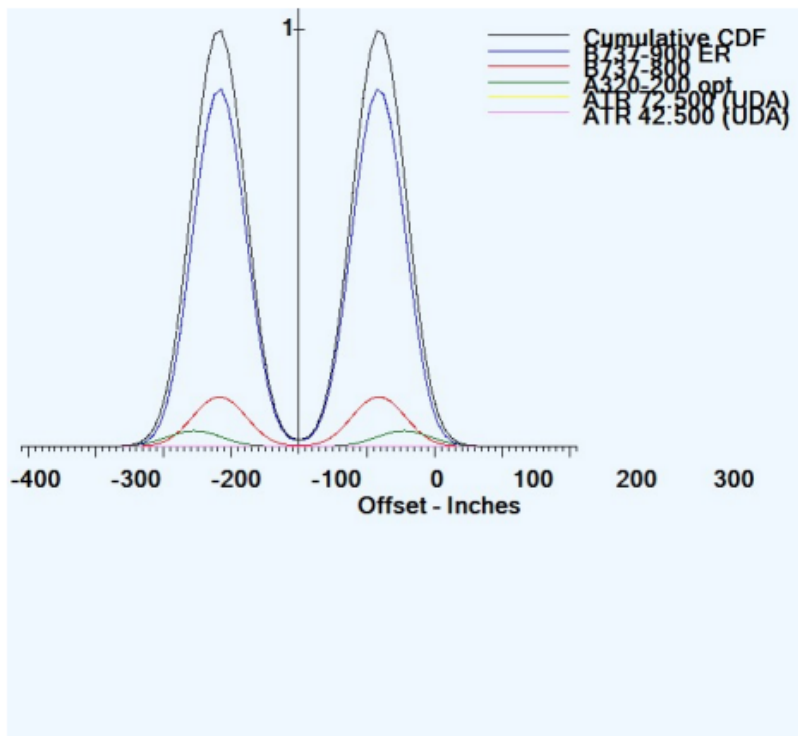
Analysis Type: New Flexible

Analysis Run Time: 2022-05-12 08:14:19

Last Run: Thickness Design

Design Life = 20 Years

Total thickness to the top of the subgrade = 27,7in.



Federal Aviation Administration FAARFIELD 2.0 Section Report

FAARFIELD 2.0.7 (Build 09/14/2021)

Job Name: Kawasan Industri Obi Ultimate_Kaku

Section: New Section 1

Analysis Type: New Rigid

Last Run: Thickness Design 2022-05-10 15:25:28

Design Life = 20 Years

Total thickness to the top of the subgrade = 27,8in.

Pavement Structure Information by Layer

No.	Type	Thickness in.	Modulus psi	Poisson's Ratio	Strength R psi
1	P-501 PCC Surface	15,8	4000000	0.15	625,0
2	P-304 Cement Treated Base	6,0	500000	0.2	0
3	P-308 Crushed Aggregate	6,0	27988	0.35	0
4	Subgrade	0	9298	0.4	0

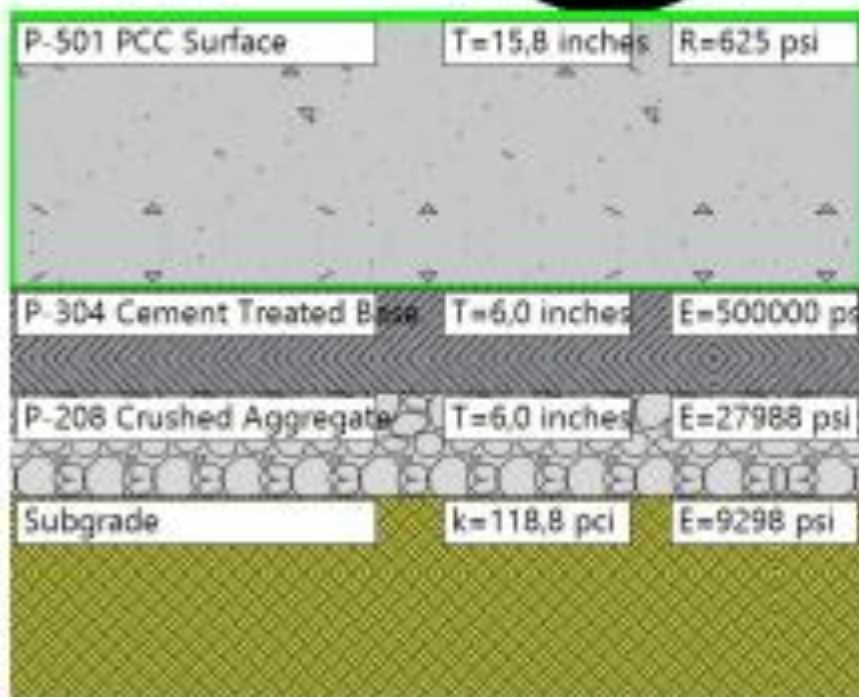
Airplane Information

No.	Name	Gross Wt. lbs	Annual Departures	% Annual Growth
1	B737-900 ER	168200	1000	0
2	B737-800	174700	700	0
3	A320-300 opt	172850	700	0
4	ATR 42-500 (UGA)	41005	1000	0
5	ATR 72-500 (UGA)	50365	1000	0

Additional Airplane Information

No.	Name	CDF Contribution	CDF Max for Airplane	P/C Ratio
1	B737-900 ER	0,88	0,88	1,53
2	B737-800	0,10	0,10	1,53
3	A320-300 opt	0,00	0,05	1,67
4	ATR 42-500 (UGA)	0,00	0,00	32,76
5	ATR 72-500 (UGA)	0,00	0,00	12,05

User is responsible for checking frost protection requirements.



Federal Aviation Administration FAARFIELD CDF Graph

FAARFIELD 2.0.7 (Build 09/14/2021)

Job Name: Kawasan Industri Obi Ultimate_Kaku

Section: New Section 1

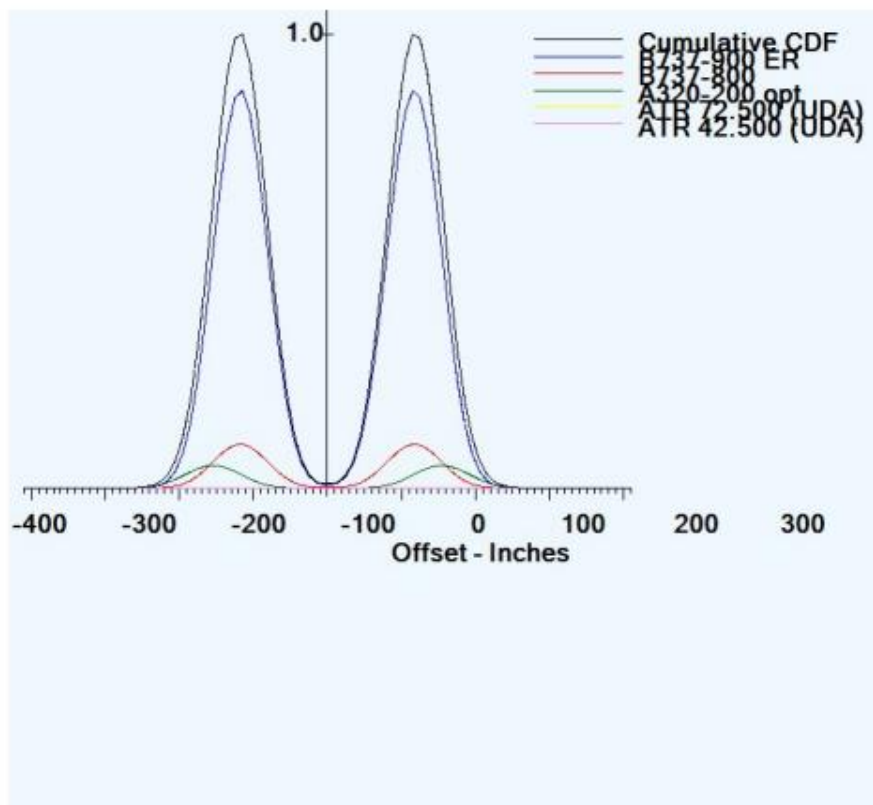
Analysis Type: New Rigid

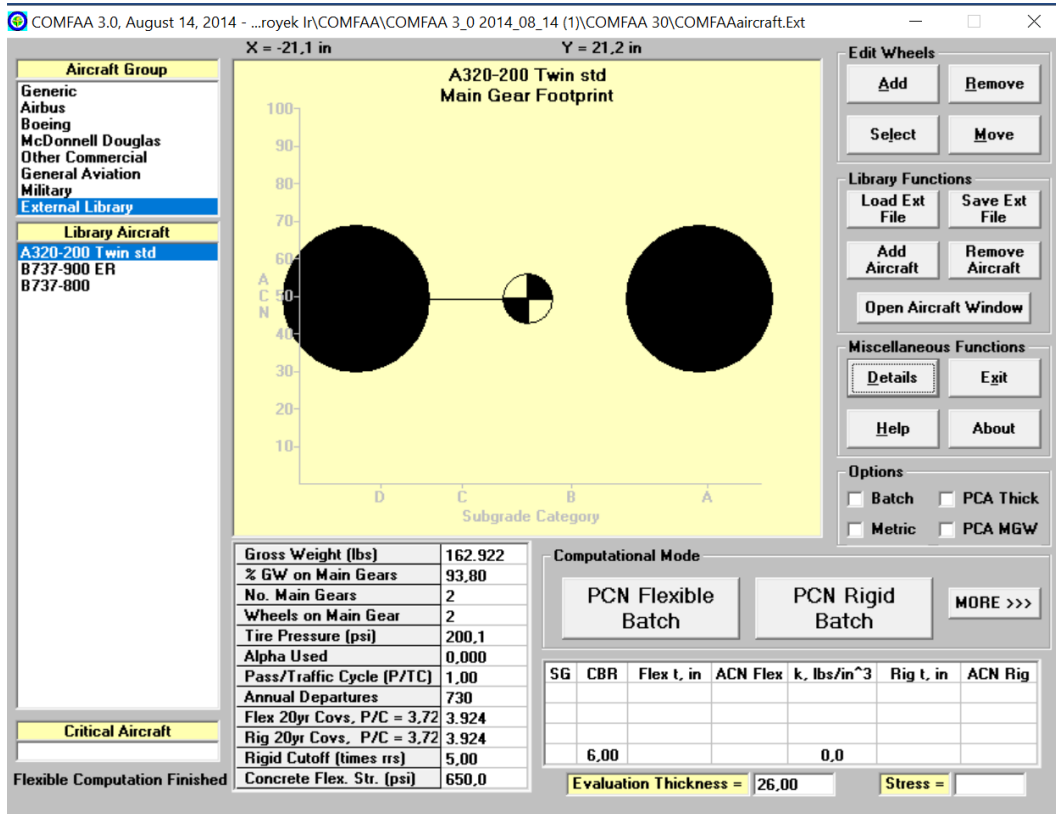
Analysis Run Time: 2022-05-10 15:25:28

Last Run: Thickness Design

Design Life = 20 Years

Total thickness to the top of the subgrade = 27,8in.





ICAO ACN Computation, Detailed Output

Unit Conversions Show Alpha Show Ext File Single Aircraft ACN Flexible Rigid Other Calculation Modes PCN ACN Batch Thickness Life MGW Back

Save PCN Output to a Text File

Evaluation pavement type is flexible and design procedure is CBR.
Alpha Values are those approved by the ICAO in 2007.

CBR = 6,00 (Subgrade Category is C(6))
Evaluation pavement thickness = 26,00 in
Pass to Traffic Cycle (PtoTC) Ratio = 1,00
Maximum number of wheels per gear = 2
Maximum number of gears per aircraft = 2

No aircraft have 4 or more wheels per gear. The FAA recommends a reference section assuming 3 inches of HMA and 6 inches of crushed aggregate for equivalent thickness calculations.

Results Table 1. Input Traffic Data

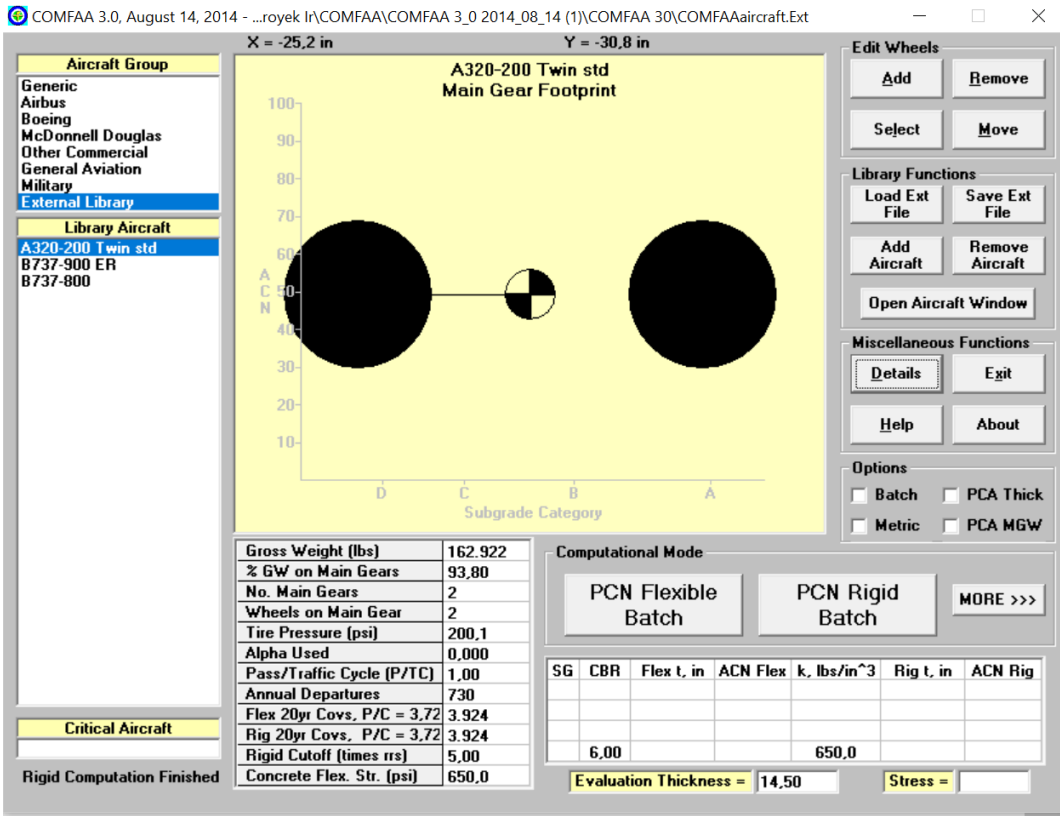
No.	Aircraft Name	Gross Weight	Percent Gross Wt	Tire Press	Annual Deps	20-yr Coverages	6D Thick
1	A320-200 Twin std	162,922	93,80	200,1	730	3,924	28,26
2	B737-900 ER	188,200	94,58	220,0	1,200	6,756	33,16
3	B737-800	174,700	93,56	205,0	730	4,104	30,20

Results Table 2. PCN Values

No.	Aircraft Name	Critical Aircraft Total Equiv. Covs.	Thickness for Total Equiv. Covs.	Maximum Allowable Gross Weight	ACN Thick at Max. Allowable Gross Weight	CDF	PCN on C(6)
1	A320-200 Twin std	31,538	32,67	113,631	24,21	2,5847	28,3
2	B737-900 ER	10,655	34,24	121,729	25,89	13,2488	32,3
3	B737-800	17,256	33,47	117,249	25,07	4,9408	30,3
						Total CDF =	20,7744

Results Table 3. Flexible ACN at Indicated Gross Weight and Strength

No.	Aircraft Name	Gross Weight	% GW on Main Gear	Tire Pressure	ACN Thick	ACN on C(6)
1	A320-200 Twin std	162,922	93,80	200,1	3,924	28,26
2	B737-900 ER	188,200	94,58	220,0	6,756	33,16
3	B737-800	174,700	93,56	205,0	4,104	30,20



ICAO ACN Computation, Detailed Output

Unit Conversions Show Alpha Show Ext File Single Aircraft ACN: Flexible Rigid Other Calculation Modes: PCN ACN Batch Thickness Life MGW Back

Save PCN Output to a Text File

flexural strength = 650,0 psi
 Evaluation pavement thickness = 14,50 in
 Pass to Traffic Cycle (PtoTC) Ratio = 1,00

Maximum number of wheels per gear = 2
 Maximum number of gears per aircraft = 2

Results Table 1. Input Traffic Data

No.	Aircraft Name	Gross Weight	Percent Gross Wt	Tire Press	Annual Deps	20-yr Coverages	6D Thick
1	A320-200 Twin std	162.922	93,80	200,1	730	3.924	12,61
2	B737-900 ER	188.200	94,58	220,0	1.200	6.796	14,43
3	B737-800	174.700	93,56	205,0	730	4.104	13,31

Results Table 2. PCN Values

No.	Aircraft Name	Critical Aircraft Total Equiv. Covs.	Thickness for Total Equiv. Covs.	Maximum Allowable Gross Weight	ACN Thick at Max. Allowable Gross Weight	CDF	PCN on B(295)
1	A320-200 Twin std	51.383	14,71	158.706	11,81	0,0970	44,6
2	B737-900 ER	9.256	14,73	182.525	13,14	0,9325	56,1
3	B737-800	21.666	14,72	169.691	12,45	0,2406	50,0
Total CDF =						1,2701	

Results Table 3. Rigid ACN at Indicated Gross Weight and Strength

No.	Aircraft Name	Gross Weight	% GW on Main Gear	Tire Pressure	ACN Thick	ACN on B(295)
1	A320-200 Twin std	162.922	93,80	200,1	11,98	46,0
2	B737-900 ER	188.200	94,58	220,0	13,36	58,2
3	B737-800	174.700	93,56	205,0	12,65	51,7