

ANALISIS PERENCANAAN APRON BANDARA MELAK BERDASARKAN PROYEKSI 20 TAHUN MENDATANG

ABSTRAK

Annisa Rahma Utari¹ M. Jazir Alkas² Masayu Widiastuti³

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman, Jl. Sambaliung No.9 Kampus Gunung Kelua, Samarinda

e-mail: annisarahmautari16@gmail.com

²Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman, Jl. Sambaliung No.9 Kampus Gunung Kelua, Samarinda

e-mail: mjalkaz@gmail.com

³Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman, Jl. Sambaliung No.9 Kampus Gunung Kelua, Samarinda

e-mail: widiwidada@ft.unmul.ac.id

Penerbangan merupakan salah satu moda transportasi yang tidak dapat dipisahkan dari moda-moda transportasi lain, yang memerlukan tingkat keselamatan tinggi baik pada kondisi pesawat maupun kondisi dari berbagai infrastruktur pada bandara udara. Bandar udara Melalan terletak di Kecamatan Barong Tongkok, Kabupaten Kutai Barat, Provinsi Kalimantan Timur. Seiring dengan optimalisasi dan pengembangan jangka Panjang 20 tahun mendatang pada Bandar udara Melalan Melak, diperlukan evaluasi perkerasan kaku pada *apron* yang dianalisis dengan metode ICAO, yaitu dengan menggunakan nilai PCN/ACN pada pesawat rencana ATR 42-300 dan Boeing 737-300. Selanjutnya juga dianalisis tegangan tanah dan beton pada *apron*.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui permintaan transportasi pada jenis pesawat ATR 42300 dan Boeing 737-300. Selain itu juga untuk mengetahui tebal komposisi perkerasan kaku, lapis pondasi, dan tanah dasar serta tegangan tanah dan beton pada *apron*.

Analisis dari nilai PCN pada pesawat rencana ATR 42-300 yaitu 6 R/C/X/T diperoleh hasil tebal perkerasan kaku sebesar 25 cm, dan *subgrade* sebesar 15 cm. Untuk tegangan pond atau beton diperoleh nilai pada hidung pesawat (*P nose*) sebesar 8.19 KN dan pada sayap (*P leg*) sebesar 77.83 KN, serta nilai tegangan ijin sebesar 3525 KN, dimana untuk pesawat rencana ATR 42-300 nilai ini termasuk nilai yang aman. Untuk tegangan tanah analisis Terzaghi, diperoleh nilai tegangan pada *nose* sebesar 6.66 KN/m² dan pada *leg* sebesar 43.49 KN/m², dengan tegangan ijin sebesar 201.27 KN/m². Pada analisis Westergaard nilai yang diperoleh pada *subgrade* 7.88 t/m², nilai tersebut masih aman untuk 20 tahun mendatang. Sementara untuk analisis Fadum nilai yang diperoleh pada *subgrade (nose)* sebesar 12.47 KN/m² dan pada *subgrade (leg)* sebesar 9,89 KN/m², nilai tersebut aman untuk 20 tahun mendatang. Sedangkan untuk analisis perkiraan 20 tahun mendatang dari nilai PCN pada pesawat rencana Boeing 737-300 yaitu 30 R/X/C/T diperoleh tebal perkerasan kaku sebesar 41.2 cm, untuk *subgrade* sebesar 15 cm. Untuk tegangan pond diperoleh nilai pada hidung pesawat (*P nose*) sebesar 49.78 KN dan pada sayap (*P leg*) sebesar 286.27 KN, serta nilai tegangan ijin yang diperoleh sebesar 3525KN, dimana nilai ini masih aman untuk perencanaan 20 tahun mendatang. Untuk tegangan tanah analisis Terzaghi, diperoleh nilai tegangan pada *nose* sebesar 14.18 KN/m² dan pada *leg* sebesar 84.27 KN/m², serta nilai tegangan ijin sebesar 201.27 KN/m². Pada analisis Westergaard nilai yang diperoleh pada *subgrade* sebesar 14.81 t/m². Pada analisis Fadum nilai yang diperoleh pada *subbase (nose)* sebesar 49.82 KN/m² dan pada *subgrade (leg)* sebesar 32.69 KN/m².

Kata kunci: *Apron, transport demand, perkerasan kaku, subbase, dan subgrade*

MELAK AIRPORT APRON PLAN ANALYSIS BASED ON PROJECTIONS FOR THE FUTURE 20 YEARS**ABSTRACT**

Flight is one of transportation mode that can't be separate with others transportation mode that needs high safety level either on airplane condition also from many airport infrastructures. Melalan Melak Airport is located on Kecamatan Barong Tongkok, Kabupaten Kutai Barat, Provinsi Kalimantan Timur. Followed by optimization and 20 years long development on Melalan Melak Airport, it is necessary to evaluate the rigid pavement on the apron which is analyzed by the ICAO method, namely by using the PCN/ACN value on the ATR 42-300 and Boeing 737-300 aircraft. Furthermore, the soil and concrete stresses on the apron were also analyzed.

The purpose of this study is to determine the transport demand on the ATR 42300 and Boeing 737-300. In addition, to know the thickness of the rigid pavement composition, subbase, and subgrade on the apron, also knowing the soil and concrete stresses on the apron.

Analysis of the PCN value on the ATR 42-300 plan aircraft, which is 6 R/C/X/T, obtained the results of a rigid pavement thickness of 25 cm, and a subgrade of 15 cm. For pond or concrete stresses, the value on the nose of the plane (P nose) is 8.19 KN and on the wing (P leg) is 77.83 KN, and the allowable stress value is 3525 KN, where for the ATR 42-300 plan aircraft this value is a safe value. For Terzaghi soil stress analysis, the stress value at the nose is 6.66 KN/m² and at the leg is 43.49 KN/m², with a allowable stress of 201.27 KN/m². In the Westergaard analysis, the value obtained at the subgrade is 7.88 t/m², this value is still safe for the next 20 years. Meanwhile, for the Fadum analysis, the value obtained for the subgrade (nose) is 12.47 KN/m² and for the subgrade (leg) is 9.89 KN/m², these values are safe for the next 20 years. As for the analysis of estimates for the next 20 years from the PCN value on the Boeing 737-300 planned aircraft, which is 30 R/X/C/T, the rigid pavement thickness is 41.2 cm, for the subgrade it is 15 cm. For the pond stress, the value of the P nose is 49.78 KN and the P leg is 286.27 KN, and the allowable stress value is 3525 KN, where this value is still safe for planning for the next 20 years. For Terzaghi soil stress analysis, the stress value at the nose is 14.18 KN/m² and at the leg is 84.27 KN/m², and the allowable stress value is 201.27 KN/m². In the Westergaard analysis, the value obtained for the subgrade is 14.81 t/m². In the Fadum analysis, the value obtained in the subbase (nose) is 49.82 KN/m² and in the subgrade (leg) is 32.69 KN/m².

Keywords: *Apron, transport demand, rigid pavement, subbase and subgrade*

Bagian 1

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Bandar udara adalah lapangan terbang yang digunakan untuk mendarat dan lepas landas pesawat udara, naik turun penumpang dan atau kargo dan atau pos, serta dilengkapidengan fasilitas keselamatan penerbangan dan sebagai tempat perpindahan antar moda transportasi. (Kepmenhub No. KM 48 tahun 2002). Penerbangan merupakan salah satu moda transportasi lain yang tidak dapat dipisahkan dari moda-moda transportasi lain yang ditata dalam sistem transportasi nasional, yang dinamis dan mampu mengadaptasi kemajuan di masa depan mempunyai kemampuan untuk mencapai tujuan dalam waktu cepat. Bandar udara Melalan terletak di Kampung Gemuhan Asa, Kecamatan Barong Tongkok, Kabupaten Kutai Barat, Provinsi Kalimantan Timur. Rute penerbangan mempengaruhi jumlah pesawat yang parkir pada bandar udara Melalan. Pergerakan pesawat yang terjadi pada bandar udara Melalan mencapai 2 sampai 3 pergerakan dan jumlah penumpang kurang lebih 80 orang per bulan dan diperkirakan dalam satu tahun sekitar 960 penumpang, hal ini sangat berpengaruh terhadap kinerja setiap akses yang ada di Bandar Udara Melalan, salah satunya ialah *apron*. *Apron* juga digunakan sebagai tempat parkir pesawat, tempat pengisian bahan bakar, menurunkan dan menaikkan penumpang. *Apron* yang berada pada sisi udara (*airside*) langsung bersinggungan dengan bangunan terminal yang tentunya berdampak besar pada seberapa besar kemampuan *apron* untuk melayani pesawat yang akan parkir dan melakukan aktifitas lainnya. Analisis Kekuatan Perkerasan pada *apron* yang akan diulas di sini akan menggunakan metode ICAO, yaitu dengan cara menggunakan nilai ACN dan PCN (*Pavement classification number*) untuk melaporkan kekuatan perkerasan di bandar udara dan pesawat udara yang akan *landing*, dikenal dengan istilah ACN /PCN. PCN menunjukkan bahwa sebuah pesawat udara dengan ACN yang sama atau lebih kecil dari PCN dapat beroperasi pada perkerasan tergantung *tire pressure* (ICAO, 2013).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka perumusan masalah yang akan diteliti sebagai berikut:

1. Bagaimana menentukan pesawat rencana pada Bandar Udara Melalan?

2. Faktor apa saja mempengaruhi bahan pertimbangan dalam perencanaan tebal perkerasan?
3. Berapakah tebal perkerasan pada bandar udara Melalan, menggunakan metode ICAO?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka diharapkan tujuannya adalah sebagai berikut:

1. Memperkirakan *air transport demand* pada tahun rencana.
2. Mengetahui Nilai ACN/PCN pada Pesawat kritis.
3. Mengetahui berapa komposisi tebal *rigid*, *subbase*, dan *subgrade* pada *apron* menggunakan metode ICAO (Peraturan Direktur Jendral Perhubungan Udara).
4. Mengetahui tegangan tanah dan tegangan beton sebagai akibat beban yang bekerja.

1.4 Batasan Masalah

Ruang lingkup penelitian ini dibatasi pada pembahasan tentang:

1. Penelitian dilakukan pada Bandar Udara Melalan.
2. Daerah perhitungan adalah pada struktur perkerasan kaku terminal *apron* Bandar Udara Melalan.
3. Penggunaan data dari Bandar Udara Melalan hanya dimaksudkan untuk keperluan contoh proses desain saja dan tidak dimaksudkan untuk mengevaluasi struktur perkerasan kaku yang ada disana.
4. Tidak menghitung nilai ekonomisnya.
5. Tidak menghitung resiko konsolidasi karena pengaruh tebal.

Bagian 2

2. Tinjauan pustaka

2.1 Tinjauan Umum

Bandar udara adalah tempat persiapan pesawat terbang (alat transportasi udara). Digunakan untuk mendarat dan lepas landas untuk melakukan kegiatan seperti menurunkan dan mengangkat penumpang atau barang. Sistem bandar udara terbagi menjadi 2 sisi yaitu sisi darat (*land side*) dan sisi udara (*air side*).

2.2 Pengembangan Bandar Udara

Pengembangan yang dilakukan pada suatu bandar udara didasarkan peramalan jumlah permintaan pada angkutan udara.

2.3 Perkerasan Kaku

Perkerasan kaku terdiri dari *slab* beton (*surface course*) yang digelar di atas lapisan granular (*subbase course*) yang telah dipadatkan. Lebih

baik lagi apabila lapisan *subgrade course* diberik campuran semen atau aspal sehingga efek *pumping* bisa diminimalisasi. Faktor-faktor yang mempengaruhi perkeasan kaku yaitu, Kekuatan *subgrade* atau *subbase*, Menentukan kekuatan lentur beton dalam perencanaan perkerasan kaku, Menentukan MTOW tiap jenis pesawat yang dilayani, Menentukan ramalanan *annual departure* tiap jenis pesawat yang dilayani, dan Mentukan tebal *slab* beton.

2.4 Klasifikasi tanah

Subgrade adalah lapisan tanah asli yang menpang beban roda yang diteruskan oleh struktur lapisan perkerasan. Dalam perhitungan PCN daya dukung *subgrade* sangat penting. Karakteristik daya dukung *subgrade* yang dibutuhkan dalam evaluasi nilai PCN adalah nilai CBR (*California Bearing Ratio*) dan K harus mempresentasikan kondisi seluruh area konstruksi.

2.5 Perencanaan Tulangan

Walaupun mungkin tegangan tersebut akan mengakibatkan terjadinya penggelinciran tulangan terhadapat beton di tempat yang tepat bersebelahan dengan retak beton pada kali ini menggunakan rumus sbagai berikut:

$$As = \frac{3.7 L \sqrt{L T}}{fs} \dots\dots\dots (2.1)$$

keterangan:
L = *Joint spacing longitudinal/transversal*
T = *tebal slab beton*
Fs = *kuat lentur beton*

2.6 Pondasi

Secara umum konstruksi yang paling efesien dari ketebalan perkerasa kaku dan ketebalan *subbase* yang stabil untuk kapasitas struktur adalah rasio 1:1. Geser dua arah digunakan pada pondasi telapak segi empat biasa, besarnya kapasitas gesers beton pada keruntuhan geses dua arah (*geser-pons*) dari pondasi telapk, pada penampang kritis sejarak d/2 ditentukan dengan rumus sebagai berikut:

$$Vc = (1 + 2 / \beta c) \times \sqrt{f'c} \times B \times d / 6 \dots\dots\dots (2.2)$$

keterangan:
 βc = *Rasio sisi Panjang terhadap sisi pendek kolom*
 $\sqrt{f'c}$ = *Mutu beton*
B = *Lebar pondasi*
d = *Tebal efektif*

2.7 Kapasitas Dukung Tanah

Berdasarkan hasil uji model, Vesic (1963) membagi mekanisme keruntuhan pondasi menjadi 3 macam, yaitu keruntuhan geser umum (*general shear failure*), keruntuhan geser lokal

(*local shear failure*), keruntuhan penetrasi (*penetration failure* atau *punching shear*).

2.7.1 Analisis Terzaghi

Kapasitas dukung ultimit (*ultimit bearing capacity*) (q_u) didefinisikan sebagai beban maksimum per satuan luas di mana tanah masih dapat mendukung beban tanpa mengalami keruntuhan. Bila dinyatakan dalam persamaan, maka:

$$q_u = \frac{P_u}{A} \dots\dots\dots (2.3)$$

keterangan:
 q_u = *kapasitas dukung ultimit (KN/m²)*
 P_u = *beban ultimit (KN)*
 A = *luas pondasi (m²)*

diperoleh persamaan umum kapasitas dukung Terzaghi untuk pondasi memanjang:

$$q_u = 1.3CN_c + D_f \gamma N_q + 0.4 \gamma B N_q \dots\dots\dots (2.4)$$

keterangan:
 q_u = *Kapasitas dukung ultimit untuk pondasimemanjang (KN/m²)*
 c = *Kohesi (KN/m²)*
 D_f = *Kedalaman pondasi (m)*
 γ = *Berat volume tanah*
 $P_0 = D_f \gamma$ = *tekanan overburden pada dasar pondasi (KN/m²)*
 N_y, N_c, N_q = *Faktor kapasitas dukung Terzaghi*

2.9.2 Tekanan Vertikal Dengan Analisis Westergaard

Diizinkan terjadinya lendutan ke arah bawah tanpa mengalami regangan lateral.

$$\sigma_z = K_w \frac{Q}{Z^2} \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan:
 σ_z = *tegangan*
 K_w = *faktor pengaruh Westergaard*
Q = *titik beban (ton)*
Z² = *kedalaman (m)*

2.7.2 Tekanan Vertikal Dengan Analisis Fadum

Apabila beban terbagi rata = q terletak diatas bidang persegi empat QRST dengan lebar = B dan Panjang = L seperti pada gambar dibawah ini, maka tekanan vertikal pada kedalaman = z di titik P dapat ditentukan.

$$\sigma_z = I_\sigma \cdot q \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan:
 σ_z = *tegangan*
 I_σ = *faktor pengaruh Fadum*
q = *titik beban KN/m²*

2.8 ACN (Aircraft Classification Number)

ACN adalah suatu angka yang menyatakan batasan dari pesawat tertentu di atas perkerasan dengan spesifikasi standar *subgrade*. Nilai ACN dikeluarkan oleh pabrik pesawat.

2.9 PCN (Pavement Classification Number)

PCN merupakan suatu angka yang menjelaskan daya dukung tanah perkerasan untuk operasi tak terbatas pesawat udara dengan nilai ACN kurang dari sama dengan PCN.

Faktor yang dipergunakan untuk menghitung nilai PCN adalah :

1. Nilai numerik kekuatan perkerasan
2. Jenis perkerasan
3. Kategori subgarde
4. Tekanan ijin roda
5. Metode evaluasi

2.9.1 Langkah Perhitungan PCN

1. Menghitung *equivalen annula departure* pesawat kritis.
- 3 Untuk mendapatkan *equivalen annula departure* pesawat kritis, dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\log R1 = \log R2 \times \left(\frac{W2}{W1}\right)^{1/2} \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan:

R1 = annual departure pesawat kritis / pesawat desain

R2 = annual departure yang dinyatakan dalam landing gear pesawat

W1 = beban roda pesawat kritis

W2 = beban roda pesawat yang dikonversi
Atau dapat menggunakan tabel tabulasi perhitungan equivalen annual departure.

- 4 Menghitung nilai modulus reaksi (K) permukaan *base course*. Untuk mendapatkan nilai K dilakukan pengujian *plate bearing test*.

K on top dapat dihitung dengan rumus :

$$K = \left[\frac{1500 \times CBR}{26}\right]^{0.7788} \dots\dots\dots (2.6)$$

- 5 Menghitung nilai *flexular stragth slab* beton. *flexular stragth* (Fr) dihitung dengan rumus : $Fr = 9\sqrt{fc'}$ (2.7)

Keterangan:

Fr = flexular stragth

fc' = kuat tekan beton

- 6 Menghitung daya dukung perkerasan. Dengan diagram di peraturan KP 93 Tahun 2015 pedoman perhitungan PCN.

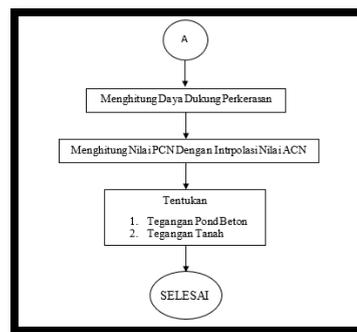
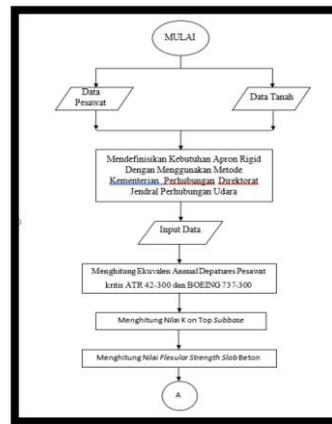
Bagian 3

3. Metodologi Penelitian

3.1 Lokasi penelitian

Lokasi penelitian berada di bandar udara Melalan. terletak di kampung Gemuhan Asa, Kecamatan Barong Tongkok, Kabupaten Kutai Barat, Provinsi Kalimantan Timur.

3.2 Bagan Alur



Gambar 1 Bagan Alur

3.3 Parameter Analisis dan Pembahasan

Angka 20 tahun tidak berpengaruh pada proses perhitungan tebal, karena pada perhitungan tebal digunakan hanya *annual departure* saja, angka dari *annual departure* sudah dikunci pada tahun sebelumnya, bukan merupakan akumulasi dari nilai tahun sebelumnya.

Bagian 4

4. Hasil dan Analisa

4.1 Data Lalu Lintas Udara

Sesuai dengan data angkutan udara dari Dinas Perhubungan, Bandar Udara Melalan dan data pergerakan lalu lintas yang datang dan pergi dari ke Bandar Udara Melalan untuk pesawat ATR 42-300 tahun 2015 adalah sebagai berikut:

Tabel 1 Pergerakan Pesawat

| Tipe pesawat | Forecast Daily Departure | Forecast Annual Departure |
|--------------|--------------------------|---------------------------|
| ATR 42-300 | 1-2 kali / hari | 572 kali / tahun |

(Sumber: Bandar Udara Melalan)

Dan untuk perencanaan 20 tahun mendatang pada pesawat BOIENG 737-300 adalah:

Tabel 2 Pergerakan Pesawat 20 Tahun Mendatang

| Tipe pesawat | Forecast Daily Departure | Forecast Annual Departure |
|----------------|--------------------------|---------------------------|
| ATR 42-300 | 1-2 kali / hari | 572 kali / tahun |
| BOIENG 737-300 | 1 kali/hari | 288 kali/tahun |

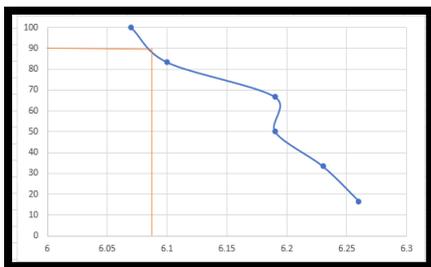
(Sumber: Hasil Analisis)

4.1.1 Menentukan Equivalent Annual Departures Pesawat Kritis

Metode yang digunakan dalam menentukan *equivalent annual departures* pesawat kritis adalah metode Kementerian Perhubungan Direktorat Jendral Perhubungan Udara Menentukan *equivalent annual departures* pesawat kritis ATR 42-300 berdasarkan tabel didapat nilai *equivalent annual departures* pesawat kritis ATR 42-300 sebesar 457.6 dan sedangkan pada BOIENG 737-300 didapat nilai sebesar 83.2 dan ditotal nilai *equivalent annual departures* pesawat kritis pada tahun rencana 20 tahun sebesar 106.38. (didapat pada tabel peraturan KP 93 Tahun 2015 pedoman perhitungan PCN).

4.1.2 Menghitung Nilai Modulus Reaksi K Dengan Pesawat

Dari data sekunder hasil penyelidikan tanah didapat data CBR sebesar 6.1 % dimana angka tersebut diambil dari rata-rata 90% data CBR yang dapat dilihat pada grafik.



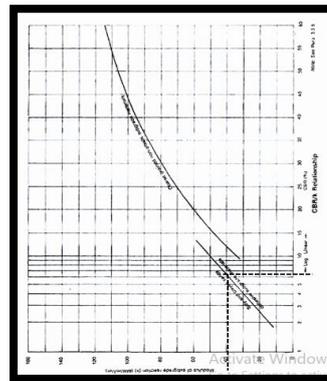
Gambar 2 CBR 90%

(Sumber: Hasil Analisis)

Nilai ini sesuai standar nilai CBR dalam spesifikasi syarat dari Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga. Dari nilai CBR ini sehingga dapat diketahui nilai *subgrade* K dengan perhitungan sebagai berikut:

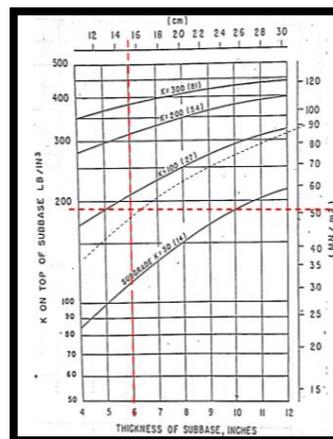
$$\begin{aligned} \text{Modulus of soil reaction (k)} &= \left[\frac{1500 \times \text{CBR}}{26} \right]^{0.7788} \\ &= \left[\frac{1500 \times 6.08}{26} \right]^{0.7788} \\ &= 96.1 \text{ Psi} \\ &= 26.1 \text{ MN/m}^2/\text{m} \end{aligned}$$

Berdasarkan gambar, nilai K untuk tanah lempung dengan CBR 6.08% adalah 40 MN/m²/m. setelah ini akan ditentukan *K on TOP subbase* dengan menggunakan Gambar 4.3. Dihilangkan *K on TOP subbase*.



Gambar 3 Grafik Korelasi Antara Nilai K dan CBR Subgrade

(Sumber: Peraturan Direktorat Jendral Perhubungan Udara)



Gambar 4 Pengaruh Subbase Terhadap Modulus Subgrade

(Sumber: Hasil Analisis)

Didapat nilai K on Top untuk kedua pesawat sebesar 180 LB/INC³ atau 52 MN/m²/m sedangkan subbase sebesar 6 inc atau 15 cm.

4.1.3 Menghitung *Flexular Strength* Slab Pesawat

Untuk menghitung *flexular strength slab* dipergunakan mutu beton sebesar K-400 kg/cm².

Diketahui:

Mutu Beton = 400 kg/cm²

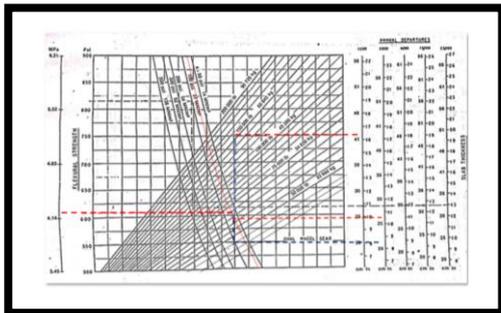
Nilai kuat tekan beton kubus = 0.83 kg/cm²

Dengan menggunakan persamaan yaitu:

1. Kuat tekan f'_c =
nilai kuat tekan beton x mutu beton
= 400 x 0.83
= 322 kg/cm²
= 4722.149 Psi
2. *Flexular Strength* = $9\sqrt{f'_c}$
= 618.461 Psi
= 4.261197 Mpa

4.1.4 Menghitung Beban Maksimum Perkerasan Pesawat

Untuk menentukan nilai *slab* beton pada pesawat dapat menggunakan grafik evaluasi perkerasan kaku pesawat *dual wheel*. Dimana nilai *flexular strength* pada ATR 42-300 dan BOIENG 737-300 sebesar 618.461 Psi (4.261197 Mpa) dan nilai K sebesar 26.16631 MN/m²/m yang membedakan hanya berat pesawat (MTOW) dari pesawat yaitu pada ATR sebesar 36.861 lb sedangkan pada BOIENG 737-300 140.000 lb.



Gambar 5 Kurva Evaluasi Perkerasan Kaku

(Sumber: Hasil Analisis)

Dari contoh grafik di atas dapat nilai *slab* beton sebesar: 25 cm (10 inc), seperti yang dapat dilihat pada gambar di bawah. Dan pada BOIENG 737-300 tebal *slab* beton sebesar 41.2 cm (16.2 inc).

4.1.5 Menghitung Nilai PCN Pesawat

Untuk menghitung nilai PCN dapat meninterpolasi dari grafik di atas dan mendapat hasil sebesar 32200 lbs dan 140000 lb. Dari hasil

berikut kita dapat menghitung nilai PCN menggunakan rumus berikut ini.

Diketahui:

1. ATR 42-300:

K on TOP = 40 MN/m²/m

ACN maks = 10 MN/m²/m

ACN min = 6 MN/m²/m

Beban maks = 36861 Lb

Beban min = 22675 Lb

2. BOIENG 737-300:

K on TOP = 40 MN/m²/m

ACN maks = 42 MN/m²/m

ACN min = 17 MN/m²/m

Beban maks = 140000 Lb

Beban min = 72500 Lb

Dan didapatkan nilai PCN pada ATR 42-300 yaitu 6 R/C/X/T dan pada BOIENG 737-300 yaitu 30/R/C/X/T.

4.1.6 Perencanaan Tulangan dengan Pesawat

Dari data yang diperoleh mencari kebutuhan penulangan yang diperlukan untuk perencanaan perkerasan *apron* Bandar Udara Melalan untuk 20 tahun mendatang.

Diketahui:

ATR 42-300 memiliki tebal slab 25 cm (10 inc) sedangkan pada BOIENG 737-300 41.2 (16.2 inc), dan *Joint spacing longitudinal* sebesar 15 ft dan *Joint spacing transversal* sebesar 15 ft. Perencanaan *dowel* meliputi diameter, panjang, dan spasi yang nanti didapatkan berdasarkan tebal *slab* beton, dimana ATR 42-300 dan BOIENG 737-300 menggunakan diameter 1 inc, *Length* 19 inc, dan *Spacing* 12 inc.

4.1.7 Menghitung As tulangan

Dari perhitungan As tulangan dapat dilihat di bawah ini:

1. ATR 42-300:

As tulangan = 0.02517 inch²/ft

Diameter tulangan = #3

ρ min = 0.05% = 0.0005

As min = 0.198 inch²/ft

Jumlah tulangan = 1 buah

Jarak tulangan = 1 setiap 12 inc

2. BOIENG 737-300:

As tulangan = 0.0324 inch²/ft

Diameter tulangan = #3

ρ min = 0.05% = 0.0005

As min = 0.032 inch²/ft

Jumlah Tulangan = 1 buah

Jarak tulangan = 1 setiap 12 inc

4.1.8 Perencanaan Pondasi Pesawat

Jenis pesawat ATR 42-300 memiliki berat 36861 Lb (16719 kg) dengan konfigurasi roda DW,

presentase beban pada hidung pesawat pada hidung yaitu 5 % (0.05), jarak roda 45 cm, dimensi roda 19 cm, area kontak 838 cm, Panjang bidang kontak 44.11 cm, dan tebal *slab* beton 25 cm, sedangkan pada BOIENG 737-300 memiliki berat 140.000 Lb (63503) dengan konfigurasi roda DW, presentase beban pada hidung pesawat pada hidung yaitu 8% (0.08), jarak roda 59 cm, dimensi roda 19 cm, area kontak 1048, Panjang bidang kontak 55.21 cm, dan tebal *slab* 41.2 cm.

1. *Single wheel on nose*

P_{nose} = Presentase beban pesawat pada hidung x berat pesawat

$$P_{leg} = \frac{\text{berat pesawat} \times P_{nose}}{\text{jumlah roda pada bagian belakang}}$$

Dimana P_{nose} pada ATR 42-300 memiliki nilai sebesar 8.19 KN dan P_{leg} sebesar 77.82, sedangkan pada BOIENG 737-300 P_{nose} sebesar 49.78 KN dan P_{leg} sebesar 286.26 KN. Untuk mendapatkan hasil tekanan pada roda pesawat digunakan rumus luas trapesium.

1. Tekanan pada roda pesawat *Single wheel on nose* sebagai berikut:

a. ATR 42-300:

$$\begin{aligned} \text{Luasan } (L_{A1} = L_{C1}) &= 22000 \text{ mm}^2 \\ \text{Luasan } (L_{B1} = L_{D1}) &= 345550 \text{ mm}^2 \\ \text{Luasan bidang kontak } (L_{A1} = L_{C1}) + (L_{B1} = L_{D1}) &= 565550 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

b. BOIENG 737-300:

$$\begin{aligned} \text{Luasan } (L_{A1} = L_{C1}) &= 496048 \text{ mm}^2 \\ \text{Luasan } (L_{B1} = L_{D1}) &= 794423 \text{ mm}^2 \\ \text{Luasan bidang kontak } (L_{A1} = L_{C1}) + (L_{B1} = L_{D1}) &= 1290471 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

2. Tekanan pada roda pesawat *Dual wheel on leg* sebagai berikut:

a. ATR 42-300:

$$\begin{aligned} \text{Luasan } (L_{A2} = L_{C2}) &= 445000 \text{ mm}^2 \\ \text{Luasan } (L_{B2} = L_{D2}) &= 345550 \text{ mm}^2 \\ \text{Luasan } (L_{E2} = L_{F2}) &= 33800 \text{ mm}^2 \\ \text{Luasan nilai bidang kontak } (L_{A2} = L_{C2}) &\text{ dikurang} \\ \text{dengan nilai luasan bidang kontak:} & \\ \text{Luasan } (L_{A2} = L_{C2}) - (L_{E2} = L_{F2}) &= 411.200 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luasan total bidang kontak roda *dual wheel* sebagai berikut = 1384036 mm²

b. BOIENG 737-300:

$$\begin{aligned} \text{Luasan } (L_{A2} = L_{C2}) &= 1138768 \text{ mm}^2 \\ \text{Luasan } (L_{B2} = L_{D2}) &= 794423 \text{ mm}^2 \\ \text{Luasan } (L_{E2} = L_{F2}) &= 174050 \text{ mm}^2 \\ \text{Luasan nilai bidang kontak } (L_{A2} = L_{C2}) &\text{ dikurang} \\ \text{dengan nilai luasan bidang kontak:} & \\ \text{Luasan } (L_{A2} = L_{C2}) - (L_{E2} = L_{F2}) &= 964718 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luasan total bidang kontak roda *dual wheel* sebagai berikut = 3397698 mm²

4.1.9 Menghitung Gaya Geser Pond

Setelah diperoleh hasil perhitungan *single wheel on nose* dan *dual wheel on leg* pada roda pesawat ATR 42-300 dan BOIENG 737-300 dengan mutu beton K-400, f_c dan f_t sebesar 15 ft (457.2), $\sqrt{f_c}$ sebesar 0.47 Mpa, B sebesar 1000 mm, d 41200 mm, β_c sebesar 1, dan V_c pada ATR 42-300 sebesar 57750 KN sedangkan pada BOIENG 737-300 sebesar 9476 KN, dan nilai ϕV_c pada ATR 42-300 sebesar 3500 KN sedangkan pada BOIENG 737-300 sebesar 5786 KN.

Dimana:

1. ATR 42-300:

$$\begin{aligned} P_{nose} &= 8.19 \text{ KN} \\ P_{leg} &= 49.78 \text{ KN} \\ \phi V_c &= 3500 \text{ KN (OK)} \end{aligned}$$

2. BOIENG 737-300:

$$\begin{aligned} P_{nose} &= 77.82 \text{ KN} \\ P_{leg} &= 286.27 \text{ KN} \\ \phi V_c &= 5786 \text{ KN (OK)} \end{aligned}$$

4.1.10 Menghitung Tegangan Gaya Geser Pond pada beton

Perencanaan pondasi harus mempertimbangkan adanya keruntuhan geser dan penurunan yang berlebihan. Untuk itu, kita perlu menghitung kapasitas dukung tanah pada pesawat seperti di bawah ini, dengan menggunakan rumus luasan trapesium.

1. ATR 42-300

Luasan total bidang kontak *single wheel* pada *subgrade* sebagai berikut:

$$\begin{aligned} &= [(L_{A1} = L_{B1}) + (L_{B1} = L_{D1})] \\ &= 252000 \text{ mm}^2 + 327330 \text{ mm}^2 \\ &= 579330 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$P_u = 38.91 \text{ KN/m}^2$$

$$A (\text{Single wheel on nose}) = 579330 \text{ mm}^2 = 0.57933 \text{ m}^2$$

$$q_u = \frac{P_u}{A}$$

$$q_u = 67.17 \text{ KN/m}^2$$

$$P_u = 38.91 \text{ KN/m}^2$$

$$A (\text{Dual wheel on leg}) = 714330 \text{ mm}^2 = 0.71433 \text{ m}^2$$

$$q_u = \frac{2P_u}{A}$$

$$q_u = 108,95 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{Pond Strength} = (4 \times \sqrt{f_c})$$

$$= 4 \times \sqrt{4722.149}$$

$$= 274.84 \text{ Psi}$$

$$= 1.89 \text{ Mpa}$$

$$= 1890 \text{ KN/m}^2$$

Tegangan ijin geser pond = $\phi \times (4 \times \sqrt{f_c})$ dengan diambil nilai $\phi = 0.6$ (ketentuan untuk geser).

$$= 0.6 \times 1890 \text{ KN/m}^2$$

= 1134 KN/m²

2. BOIENG 737-300

Untuk perhitungan pada BOIENG 737-300 sama seperti ATR maka didapatkan hasil sebesar:

Single wheel on nose $q_u = 177.36 \text{ KN/m}^2$

Dual wheel on leg $q_u = 274.99 \text{ KN/m}^2$

4.1.11 Kapasitas Dukung Tanah Analisis Terzaghi

1. ATR 42-300

Single wheel on nose

P nose = 8.19 KN

l nose pada subgrade = 0.99 m

p nose pada subgrade = 1.241 m

A nose pada subgrade = $p \times l = 1.23 \text{ m}^2$

Tegangan subgrade(q_u) = $\frac{P}{A} = 6.66 \text{ KN/m}^2$

σ erhitung = 603.80 KN/m²

SF = 3

σ ijin = 201.27 KN/m²

dari perhitungan ini σ ijin yang diperoleh sebesar 201.27 KN/m².

$q_u = 6.66 \text{ KN/m}^2 < \sigma$ ijin = 201.27 KN/m²

Dual wheel on leg

P nose = 77.83 KN

l nose pada subgrade = 1.44 m

p nose pada subgrade = 1.241 m

A nose pada subgrade = $p \times l = 1.79 \text{ m}^2$

Tegangan subgrade(q_u) = $\frac{P}{A} = 43.49 \text{ KN/m}^2$

Untuk analisis keruntuhan lokal didapatkan hasil σ ijin sebesar 130.93 KN/m²

2. BOIENG 737-300

Untuk perhitungan pada BOIENG 737-300 sama seperti ATR maka didapatkan hasil sebesar:

Single wheel on nose

Tegangan subgrade(q_u) = $\frac{P}{A} = 14.18 \text{ KN/m}^2$

Dual wheel on leg

Tegangan subgrade(q_u) = $\frac{P}{A} = 84.27 \text{ KN/m}^2$

4.1.12 Kapasitas Dukung Tanah Analisis Westergaard

1. ATR 42-300

Berat pesawat (Q) = 0.83 ton = (0.83/2 = 0.415 ton)

Kedalaman (z) = 0.25 m

r = 0

Dilihat pada tabel harga-harga westergaard Kw yang didapat sebesar = 0.3183 setelah nilai Kw sudah diketahui maka langkah selanjutnya dapat menghitung tekanan vertikalnya seperti di bawah ini:

$$\sigma_z = Kw \cdot \frac{Q}{Z^2}$$

$$\sigma_z = 0.3183 \times \frac{0.415}{0.25^2}$$

$\sigma_z = 2.11 \text{ t/m}^2$

Tabel 3 Hasil Tegangan Roda Pada ATR42-300

1. ATR 42-300

| | σ_z | σ ijin |
|-----------------------------------|------------------------|----------------------|
| <i>Dual wheel on leg subbase</i> | 20.19 t/m ² | - |
| <i>Dual wheel on leg subgrade</i> | 7.88 t/m ² | 20.13/m ² |

Tabel 4 Hasil Tegangan Roda Pada BOIENG 737-300

2. BOIENG 737-300

| | σ_z | σ ijin |
|-----------------------------------|------------------------|------------------------|
| <i>Dual wheel on leg subbase</i> | 27.63 t/m ² | - |
| <i>Dual wheel on leg subgrade</i> | 14.81 t/m ² | 20.13 t/m ² |

20.13.1 Kapasitas Dukung Tanah Analisis Fadum

Tabel 5 Tabel Tekanan Vertikal Metode Fadum ATR 42-300

1. ATR 42-300

| Kedalaman z (cm) | $m = \frac{B}{Z}$ | $n = \frac{L}{Z}$ | $I\sigma$ | $\sigma_z = I\sigma \cdot q$ |
|------------------|-------------------|-------------------|-----------|------------------------------|
| 25 | 0.76 | 1.76 | 0.18 | 16.26 KN/m ² |
| 40 | 0.48 | 1.10 | 0.138 | 12.47 KN/m ² |
| 55 | 0.35 | 0.80 | 0.100 | 9.03 KN/m ² |

Tabel 6 Tabel Tekanan Vertikal Metode Fadum BOIENG 737-300

2. BOIENG 737-300

| Kedalaman z (cm) | $m = \frac{B}{Z}$ | $n = \frac{L}{Z}$ | $I\sigma$ | $\sigma_z = I\sigma \cdot q$ |
|------------------|-------------------|-------------------|-----------|------------------------------|
| 25 | 0.76 | 2.20 | 0.169 | 70.16 KN/m ² |
| 41.2 | 0.46 | 1.34 | 0.12 | 49.82 KN/m ² |
| 71.2 | 0.27 | 0.77 | 0.059 | 24.50 KN/m ² |

4.2 Analisis Terhadap Beban Pesawat BOEING 737-300

Dari analisis perhitungan pada pesawat rencana BOEING 737-300 dimana pada lapisan *subgrade*, hanya mampu menahan beban pesawat sebesar 45504 kg sedangkan besar beban pesawat BOEING 737-300 dalam kondisi bahan bakar penuh dan kosong penumpang adalah 46720 kg. Akan tetapi pada lapisan

perkerasan kaku atau tebal *slab* sebesar 41.2 cm dari perencanaan telah mampu menahan pesawat kondisi MTOW sebesar 140.000 kg atau sebesar 635029 kg. Jadi disarankan apabila Bandar Udara Melalan ingin menambah kapasitas pesawat maka disarankan untuk mengganti atau menambah kekuatan *subgrade* dan bias juga menambah lapisan perkerasan kaku di atas lapisan perkerasan sebelumnya, akan tetapi saran tersebut tidak dianjurkan karena kemungkinan lapisan dari perkerasan di atasnya bisa saja kurang menempel pada lapisan di bawahnya.

Bagian 5

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan data analisis dan pembahasan yang dilakukan pada perencanaan *apron* bandar udara melak untuk proyeksi 20 tahun mendatang dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Pesawat rencana dan *air transport demand* pada tahun rencana sebagai berikut untuk ATR 42-300 yaitu 1-2 perjalanan pesawat perhari dan untuk BOEING 737-300 tahun rencana 20 tahun mendatang yaitu 1 kali pesawat perhari.
2. Nilai PCN yang didapat sebagai berikut ATR 42-300 adalah 6 R/C/X/U dan tahun rencana 20 tahun mendatang untuk BOEING 737-300 adalah 30 R/X/C/T.
3. Dengan metode ICAO untuk tebal *slab* perkerasan kaku pada *apron* Bandar Udara Melalan sebagai berikut ATR 42-300 memiliki tebal *slab* sebesar 25 cm dan *subbase* 15 cm, sehingga tebal perkerasan kaku sebesar 40 cm, dan untuk BOEING 737-300 memiliki tebal *slab* sebesar 41.2 cm dan *subbase* 15 cm, sehingga tebal perkerasan kaku sebesar 56.2 cm.
4. Analisis tegangan pond pada beton didapatkan hasil sebagai berikut ATR 42-300 dimana P_{nose} sebesar $8.19 \text{ KN} < \emptyset Vc = 3525 \text{ KN}$, P_{leg} $77.82 \text{ KN} < \emptyset Vc = 3525 \text{ KN}$, dan untuk BOEING 737-300 dimana P_{nose} sebesar $49.78 \text{ KN} < \emptyset Vc = 5685.7 \text{ KN}$, P_{leg} $286.27 \text{ KN} < \emptyset Vc = 5685.7 \text{ KN}$.
 - a. Analisis Terzaghi pada ATR 42-300 Dari analisis kapasitas dukung tanah, ATR 42-300 Metode Terzaghi pada kapasitas dukung tanah keruntuhan umum pada bagian depan (*nose*) sebesar 6.66 KN/m^2 sedangkan bagian belakang (*leg*) sebesar 43.47 KN/m^2 dibandingkan dengan tegangan ijin tanah sebesar 201.27 KN/m^2 , maka tegangan masih mampu menahan beban pesawat. Dan
 - b. Metode Westergaard ATR 42-300 pada tegangan yang dihasilkan beban roda belakang (*leg*) pada permukaan pada *subgrade* sebesar 7.88 t/m^2 , jika dibandingkan dengan tegangan ijin tanah sebesar 20.13 t/m^2 , maka tegangan tanah masih mampu ditahan oleh *subgrade*.
 - c. Metode Fadum ATR 42-300 besar tegangan yang dihasilkan beban roda depan (*nose*) pada permukaan *subgrade* adalah 12.47 KN/m^2 dan tegangan beban roda belakang (*leg*) pada permukaan *subgrade* adalah 9.98 KN/m^2 jika dibandingkan dengan tegangan ijin tanah sebesar 201.27 KN/m^2 maka tegangan mampu ditahan oleh *subgrade*.
 - d. Metode Terzaghi pada BOEING 737-300 pada kapasitas dukung tanah keruntuhan umum pada bagian depan (*nose*) sebesar 14.18 KN/m^2 sedangkan bagian belakang (*leg*) sebesar 84.27 KN/m^2 dibandingkan dengan tegangan ijin tanah sebesar 201.27 KN/m^2 , maka tegangan mampu menahan beban pesawat. Dan sedangkan pada kapasitas dukung tanah keruntuhan lokal pada bagian depan (*nose*) dan belakang (*leg*) sama seperti pada keruntuhan umum. Dan tegangan ijin tanah pada keruntuhan lokal sebesar 130.93 KN/m^2 maka tegangan mampu menahan beban pesawat.
 - e. Metode Westergaard pada BOEING 737-300 besar tegangan yang dihasilkan beban roda belakang (*leg*) pada *subgrade* sebesar 14.81 t/m^2 , jika tegangan pada *subgrade* dibandingkan pada tegangan ijin tanah sebesar 20.13 t/m^2 maka tegangan pada *subgrade* tidak mampu menahan beban roda pesawat.
 - f. Metode Fadum pada BOEING 737-300 besar tegangan yang dihasilkan pada beban roda depan (*nose*) pada permukaan *subgrade* adalah 49.82 KN/m^2 dan tegangan pada beban roda belakang (*leg*) pada permukaan *subgrade* adalah 32.69 KN/m^2 jika dibandingkan dengan tegangan ijin tanah

sebesar 201.27 KN/m² maka tegangan mampu ditahan oleh *subgrade*.

5.2 Saran

1. Sehingga perlu dilakukan analisis dengan menggunakan metode-metode perencanaan lainnya, sehingga semakin dapat membandingkan dari hasil yang diperoleh.
2. Untuk selanjutnya apabila Bandar Udara Melalan ingin menambah armada pesawat maka harus dilakukan penggantian tanah dasar (*subgrade*), atau dengan mengganti model pesawat yang MTOW kurang dari 455.04 KN.

8. Pavements, *Aerodrome Design Manual (Doc 9157-AN/901) Part 3*, Bandung, ITB.
9. Pradana, Muhammad Fakhururiza., Intari, Dwi Esti., & Akbar, Faisal Ahmad., 2020, *Analisa Perkerasan Bandar Udara Menggunakan Metode ACN-PCN dan CBR (Studi Kasus Bandar Udara Internasional Husein Sastranegara Bandung)*, Bandung, Jurnal Fondasi, Volume 9 No 1, Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sultan Ageng Tirtayasa.
10. Soedarmo, G. Djatmiko., & Purnomo, Edy. S. J. Edy, 1997, *Mekanika Tanah 2*, Yogyakarta, KANISUS.

DAFTAR PUSTAKA

1. Bethary, Rindu Twidi, Pradana, M. Fakhururiza, Basidik, Suni., *Analisa Kekuatan Perkerasan Runway, Taxiway, dan Apron (Studi Kasus Bandar Udara Soekarno Hatta dengan Pesawat Airbus A-380)*, Teknik Sipil, Fakultas Teknik Riau.
2. Charles, Brian S., Djuniati, Sri., & Sandhyavitri Ari., 2016, *Analisis Perencanaan Struktur Perkerasan Runway, Taxiway, Dan Apron Bandara Sultan Syarif Kasim I menggunakan Metode FAA*, Riau, Jom FTEKNIK Volume 3 No.2, Teknik Sipil, Fakultas Teknik Riau.
3. Dipohusodo, Istimawan., 1999, *Struktur Beton Bertulang (Berdasarkan SK SNI T-15-1991-03 Departemen Pekerja Umum)*, Jakarta, PT Gramedia.
4. Hardiyatmo, Hary Christady., 2017, *Analisis dan Perencanaan Pondasi I*, Yogyakarta, Gadjah Mada University Press.
5. Hendriyani, Ika Putri., *Analisis Tebal Perkerasan Apron Pada Bandar Udara Sentani Berbasis Jumlah Dan Tipe Pesawat, Sentani*, Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Hasanudin.
6. Kementerian Perhubungan Direktorat Jendral Perhubungan Udara., Peraturan Direktorat Jendral Perhubungan Udara Nomor KP/93/tahun 2015, Jakarta, *Pedomanan Teknis Operasional Peraturan Keselamatan Penerangan Sipil Bagian 139-2 (Advisory Circular Casr Part 139-24), Pedoman Perhitungan PCN (Pavement Classification Number) Perkerasan Bandar Udara*.
7. Muliasari, Ataline., 2012, *Beban Ijin Total Pesawat (Pta) Dari Nilai PCN (Pavement Classification Number) Di Bandara Kuala Namu Medan*, Medan,