

# PERENCANAAN PENGEMBANGAN SISI UDARA BANDAR UDARA MUTIARA SIS AL-JUFRI DI KOTA PALU PROVINSI SULAWESI TENGAH

Feriska Apriana

Freddy Jansen, Lintong Mieke Elisabeth

Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi Manado

Email: [feriskaapriana@yahoo.co.id](mailto:feriskaapriana@yahoo.co.id)

## ABSTRAK

*Bandar Udara Mutiara Sis Al-Jufri Palu memiliki ukuran runway 2.360 x 45 m. Bandara ini direncanakan pemerintah sebagai bandara embarkasi haji di Indonesia Timur. Oleh karena itu, Bandar Udara Mutiara Sis Al-Jufri Palu perlu melakukan pengembangan khususnya disisi udara sehingga dapat melayani pesawat rute luar negeri, seperti Airbus A330-200.*

*Dalam perencanaan ini, penelitian dilakukan dengan menggunakan data sekunder dengan data ramalan selama 20 tahun kedepan dengan menggunakan 3 metode, yaitu trend linier, logaritma, dan eksponensial. Data yang diperlukan antara lain data Klimatologi, Data Penumpang, Data Bagasi. Selanjutnya menghitung ukuran runway, taxiway, dan apron dengan menggunakan data ramalan yang ada dan data pesawat rencana yaitu A330-200. Perencanaannya mengacu pada standar ICAO, untuk perencanaan perkerasan mengacu pada standar PCA dan FAA.*

*Penulisan ini meliputi perencanaan Runway, Taxiway, dan Apron. Untuk bagian sisi darat seperti terminal penumpang, gudang, dan parkir kendaraan hanya akan dihitung luas.*

*Berdasarkan hasil perhitungan yang mengacu pada standar yang dikeluarkan International Civil Aviation Organisation (ICAO), maka dibutuhkan ukuran runway 3.143 x 45 meter, taxiway 185 x 23 meter, dan apron 141 x 312,4 meter. Mengingat ukuran apron yang ada masih memadai, maka lebarnya saja yang perlu dilakukan pengembangan. Sehingga ukuran yang dipakai adalah 141 x 373 meter. Tebal perkerasan lentur yang diperoleh dengan menggunakan metode Federal Aviation Administration (FAA) adalah 47 inch, dan tebal perkerasan kaku yang diperoleh dengan menggunakan metode Portland Cement Asosiation (PCA) adalah 9,5 inch.*

**Kata Kunci :** *Apron, Bandar Udara Mutiara Sis Al-Jufri, Palu, Runway, Taxiway*

## PENDAHULUAN

### Latar belakang

Kebutuhan masyarakat akan sarana pelayanan transportasi yang aman dan mempunyai efisiensi waktu yang tinggi semakin meningkat. Salah satu jenis transportasi yang dapat memenuhinya adalah transportasi udara. Dengan meningkatnya lalu lintas udara, maka diperlukan adanya prasarana bandar udara yang mampu memberikan pelayanan yang memadai bagi angkutan udara.

Berdasarkan informasi yang diperoleh dari Kantor Bandar Udara Mutiara Sis Al-Jufri, bandara ini merupakan Bandar Udara kelas I yang memiliki ukuran runway 2.360 x 45 m. Dari 3 (tiga) jenis klasifikasi pengoperasian bandar udara, bandara ini masuk dalam klasifikasi operasi non presisi, dimana *instrument runway* dilakukan dengan menggunakan bantuan visual dan sebuah radio yang dapat menyediakan

bantuan pengarah yang cukup untuk melakukan pendaratan langsung, didukung oleh dokumen ketinggian minimum untuk mendarat. (Sumber: [https://id.wikipedia.org/wiki/Landas\\_pacu](https://id.wikipedia.org/wiki/Landas_pacu) Tahun: 2016).

Berada di suatu daerah yang selalu mengalami perkembangan penduduk kurang lebih sebesar 2% disetiap tahunnya, menjadikan bandara ini memiliki peranan penting dalam pergerakan dan pertumbuhan ekonomi, serta menjadikannya sebagai salah satu pintu gerbang menuju Provinsi Sulawesi Tengah.

Sulawesi Tengah memiliki daftar tunggu sebanyak 28.476 jamaah haji hingga tahun 2031 (Sumber: [haji.kemenag.go.id](http://haji.kemenag.go.id) Tahun: 2016), oleh karena itu pemerintah Provinsi Sulawesi Tengah sedang merencanakan untuk menjadikan Bandar Udara Mutiara Sis Al-Jufri sebagai bandar udara embarkasi haji di Indonesia Timur dengan harapan dapat mengurangi kepadatan jamaah haji di Indonesia Timur, karena secara geografis Kota

Palu sangat strategis untuk menjadi terminal haji untuk beberapa daerah di Indonesia Timur.

Oleh karena itu, Bandar Udara Mutiara Sis Al-Jufri perlu melakukan pengembangan khususnya disisi udara. Hal ini dilakukan agar bandara ini dapat didarati oleh penerbangan yang melayani ke Arab Saudi. Untuk menentukan pesawat rencana, harus diketahui terlebih dahulu maskapai dalam negeri yang melayani penerbangan langsung ke Arab Saudi. Dalam perencanaan ini pesawat milik Garuda Indonesia tipe Airbus A-330 digunakan sebagai pesawat rencana.

**Rumusan Masalah**

Dalam penelitian ini penulis merumuskan suatu masalah yaitu bagaimana membuat perencanaan pengembangan sisi udara di Bandar Udara Mutiara Sis Al-Jufri Palu?

**Batasan Masalah**

Penelitian ini terbatas pada Perencanaan Perkembangan Sisi Udara termasuk dengan fasilitas-fasilitas yang perlu disediakan pihak bandara guna menunjang keamanan pesawat baik saat lepas landas maupun tinggal landas. Dalam perencanaan ini, sisi darat termasuk sistem drainase bandara tidak dihitung, namun di sajikan dalam gambar *site plan*.

Perencanaan perkerasan landas pacu akan dihitung dengan menggunakan metode yang dikembangkan oleh FAA, dan perencanaan perkerasan *apron* akan dihitung dengan menggunakan metode yang dikembangkan oleh PCA.

**Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini yaitu Merencanakan Pengembangan Sisi Udara Bandar Udara Mutiara Sis Al-Jufri Palu dengan pesawat rencana Airbus A 330-200, merencanakannya sebagai landas pacu presisi, dan merencanakan peningkatan fasilitas penerangan dan pemarkaan. Sehingga diharapkan dengan adanya pengembangan yang dilakukan tingkat pelayanan yang diberikan kepada pengguna jasa transportasi udara dapat maksimal.

**Manfaat Penelitian**

Dalam penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi mahasiswa Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi dalam menunjang pembelajaran dalam bidang transportasi, khususnya transportasi udara. Dan juga diharapkan menjadi bahan pertimbangan dan

informasi bagi para perencana pengembangan bandar udara dimasa yang akan datang.

**LANDASAN TEORI**

**Komponen Lapangan Terbang**

Untuk mendukung semua kegiatan yang berlangsung dalam lapangan terbang tersebut maka komponen-komponen lapangan terbang harus yang memadai dan berfungsi dengan baik.

Komponen-komponen dari lapangan terbang yang dimaksudkan adalah:

- a. *Runway* atau landas pacu
- b. *Taxiway* atau landas hubung
- c. *Apron*
- d. Terminal *building* atau gedung terminal
- e. Gudang
- f. *Tower* atau menara kontrol
- g. Fasilitas Keselamatan (Pemadam Kebakaran)
- h. *Utility* (Fasilitas listrik, telepon, dan bahan bakar)

**Klasifikasi Lapangan Terbang**

Untuk menetapkan standar perencanaan dari Lapangan Terbang, dua badan penerbangan internasional yaitu ICAO (*International Civil Aviation Organization*) dan FAA (*Federal Aviation Administration*) telah menetapkan syarat-syarat dari suatu lapangan terbang.

**Klasifikasi Menurut ICAO**

ICAO menetapkan klasifikasi lapangan terbang yang disebut *Aerodrome Reference Code* dengan mengkategorikan dalam dua elemen. Elemen pertama adalah kode nomor yang berdasarkan *Aeroplane Reference Field Length* (ARFL) atau panjang minimum dari *Runway* yang dibutuhkan (panjang pada kondisi standar). Elemen kedua adalah kode huruf yang berdasarkan lebar sayap pesawat (*Wingspan*) dan jarak terluar roda pendaratan dengan ujung sayap.

Tabel 1 Klasifikasi lapangan terbang menurut ICAO

Elemen 1		Elemen 2		
Kode Angka	ARFL	Kode Huruf	Wingspan	Jarak terluar roda pendaratan
1	< 800 m	A	< 15 m	< 4,5 m
2	800 m - < 1.200 m	B	15 m - < 24 m	4,5 m - < 6 m
3	1.200 m - < 1.800 m	C	24 m - < 36 m	6 m - < 9 m
4	≥1.800 m	D	36 m - < 52 m	9 m - < 14 m
		E	52 m - < 60 m	9m - < 14 m
		F	65 m - < 80 m	9 m - < 16 m

**Klasifikasi Menurut FAA**

FAA mengklasifikasikan lapangan terbang dalam dua kategori yaitu :

- Pengangkutan udara (*air carrier*)
- Penerbangan umum (*General Aviation*)

**Menentukan Panjang Runway**

Yang mempengaruhi panjang landasan dari suatu bandar udara adalah temperatur, angin permukaan, kemiringan landas pacu, serta ketinggian landas pacu dari permukaan air laut.

Untuk perhitungan landas pacu, dipakai standart *Aeroplane Field Length (ARFL)*. Menurut ICAO, ARFL adalah landasan pacu minimum yang dibutuhkan untuk lepas landas padaa kondisi standar atmosfer 15° F, tidak ada angin bertiup, elevasi muka laut sama dengan nol, landas pacu tanpa kemiringan dan keadaan pesawat *maximum sertificated takeoff weight (MTOW)*.

Persyaratan ICAO mengoreksi panjang pesawat terhadap elevasi, temperatur, dan *slope* sesuai dengan kondisi bandara.

**Koreksi Terhadap Elevasi**

Berdasarkan persyaratan ICAO, ARFL bertambah 7% setiap kenaikan 300 m (1000ft) dihitung dari ketinggian muka laut, maka panjang landasan yang harus dikoreksi terhadap elevasi dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$L1 = L0 \times (1 + \frac{7}{100} \times \frac{H}{300}) \tag{1}$$

Dimana :

Lo = Panjang landas pacu minimum pada kondisi standar (m)

H = Elevasi (m)

L1 = Panjang landas pacu setelah dikoreksi terhadap elevasi (m)

**Koreksi Terhadap Temperatur**

Berdasarkan ICAO, panjang landasan harus dikoreksi terhadap temperatur sebesar 1% untuk setiap kenaikan 1° C, sedangkan setiap kenaikan 1000 m dari muka laut rata-rata temperatur turun 6,5° C. Dengan dasar ini, ICAO menyarankan hitungan koreksi temperatur terhadap panjang landasan yang dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$L2 = L1 \times [ 1 + 0,01 \times (T(150,0065H))] \tag{2}$$

Dimana :

T = Temperatur

H = Elevasi

L1 = Panjang landas pacu setelah dikoreksi terhadap elevasi (m)

L2 = Panjang landas pacu setelah dikoreksi terhadap temperatur (m)

**Koreksi Terhadap Slope**

Berdasarkan ICAO, setiap kenaikan *slope* 1% panjang landas pacu bertambah 10%. Sehingga dapat dihitung panjang landas pacu yang dibutuhkan oleh suatu pesawat rencana dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$L3 = L2 \times (1 + 0,1 \times slope) \tag{3}$$

Dimana :

L3 = Panjang landasan yang dibutuhkan oleh pesawat rencana (m)

L2 = Panjang landasan setelah dikoreksi terhadap temperetur (m)

**Menentukan Lebar Landas Pacu**

Dalam menentukan lebar landasan pacu dapat diambil sesuai dengan persyaratan yang di keluarkan ICAO. Secara umum dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

**Tabel 2 Lebar Perkerasan Landasan**

KODE ANGKA	Code Letter				
	A	B	C	D	E
1 <sup>a</sup>	18 m	18 m	18 m		
2 <sup>a</sup>	23 m	23 m	23 m		
3	30 m	30 m	30 m	45 m	
4			45 m	45 m	45 m

a. Lebar landasan presisi harus tidaak kurang dari 30 m (100 ft) untuk kode angka 1 atau 2

(Sumber: Heru Basuki, 1984)

**Perencanaan Landas Hubung (Taxiway)**

*Taxiway* adalah jalur yang menghubungkan antara *Runway* dan *Apron* yang fungsinya utamanya adalah sebagai jalan keluar masuk pesawat dari *Runway* ke bangunan terminal dan sebaliknya, atau dari *Runway* ke Hanggar pemeliharaan yang dipersiapkan. *Taxiway* diatur sedemikian rupa, sehingga pesawat yang baru mendarat tidak mengganggu pesawat lain yang siap menuju ujung lepas landas.

**Menentukan Lokasi Exit Taxiway**

Fungsi dari *Exit taxiway* atau biasa disebut *turn off* adalah menekan sekecil mungkin waktu penggunaan landasan oleh pesawat yang baru saja mendarat. *Exit taxiway* dapat ditempatkan dengan menyudut siku-siku terhadap landasan atau sudut lain terhadap landas pacu. Apabila sudut ini besarnya 30°, *exit taxiway* ini disebut *exit taxiway* kecepatan tinggi (*high speed exit*) yang dirancang untuk pesawat yang harus cepat keluar meninggalkan landasan.

Untuk menentukan lokasi *exit taxiway* yang harus diperhatikan adalah sebagai berikut:

1. Jarak dari *threshold* ke *touchdown*
2. Kecepatan waktu *touchdown*
3. Jarak dari *touchdown* sampai titik A

Untuk menentukan *exit taxiway* digunakan rumus sebagai berikut :

$$Distance\ to\ exit\ taxiway = \frac{Touchdown\ Distance + D}{2} \quad (4)$$

Dimana :

Jarak *touchdown* = 300 m untuk pesawat group B, sedangkan untuk pesawat group C dan D adalah 450 m.

$$D = \frac{(S1)^2 - (S2)^2}{2a} \quad (5)$$

S1 = *Touchdown speed* (m/s)

S2 = *Initial Exit Speed* (m/s)

a = *Perlambatan* (m/s<sup>2</sup>)

Hasil yang didapat pada perhitungan ini adalah berdasarkan kondisi pada standar sea level. Jarak yang didapat tersebut harus dikoreksi terhadap dua kondisi yaitu elevasi dan temperatur dengan rumus sebagai berikut: setiap kenaikan 300 m dari muka laut jarak harus ditambah 3%.

$$L1 = L0 (1 + 0,03 \times H/300) \quad (6)$$

Setiap kenaikan 6,5°C kondisi standar ( 15°C = 59°F ) jarak bertambah 1%

$$L2 = L1 ( 1 + 1\% \times (\frac{T_{ref} - T_0}{5,6}) ) \quad (7)$$

### Metode Perencanaan Perkerasan Landas

#### Pacu

Perkerasan adalah struktur yang terdiri dari beberapa lapisan dengan tingkat kekerasan dan daya dukung yang berlainan. Perkerasan berfungsi sebagai tumpuan rata-rata pesawat, permukaan yang rata menghasilkan jalan pesawat yang *comfort*, dari fungsinya maka harus dijamin bahwa tiap-tiap lapisan dari atas ke bawah cukup tingkat kekerasan dan ketebalannya sehingga tidak mengalami "Distress " (perubahan karena tidak mampu menahan beban).

Perkerasan dapat di bagi atas dua yaitu:

1. Perkerasan *Flexible* (perkerasan lentur)
2. Perkerasan *Rigid* (perkerasan kaku)

Perencanaan tebal perkerasan kaku tanpa tulangan dengan metode *FAA* dipakai dalam desain-desain perkerasan kaku untuk lapangan terbang. Selain mudah dalam pelaksanaannya juga aman terhadap bahaya karena banyaknya joint yang digunakan dalam pelaksanaannya.

Analisa *annual departure* dari pesawat rencana menggunakan konversi pesawat rencana dimana :

$$\log R_1 = (\log R_2) \left( \frac{w_2}{w_1} \right) \quad (8)$$

R<sub>1</sub> = *Equivalent Annual Departure* pesawat rencana

R<sub>2</sub>=*Annual departure* campuran yang dinyatakan dalam roda pendaratan pesawat Rencana

W<sub>1</sub> = Beban roda dari pesawat rencana

W<sub>2</sub>=Beban roda dari pesawat yang ditanyakan

### Apron

*Apron* adalah tempat parkir pesawat yang digunakan untuk memuat dan menurunkan penumpang, barang, dan tepat pengisian bahan bakar. Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi ukuran *apron* adalah:

- Jumlah *gate position*
- Ukuran *gate*
- *Wing tip clearance*
- *Clearance* antara pesawat yang sedang *taxiing* dan yang sedang parkir di *apron*
- Konfigurasi bangunan terminal
- Semburan Jet (*Efek Jet Blast*)
- Kebutuhan jalan untuk *gate position*

Jumlah *gate position* yang diperlukan dipengaruhi oleh:

- Jumlah pesawat pada jam sibuk
- Jenis dan presentase pesawat terbang campuran
- Presentase pesawat yang tiba dan berangkat.

Jumlah *gate position* dapat dipakai rumus sebagai berikut :

$$G = \frac{V \times T}{U} \quad (9)$$

Dimana :

G = jumlah *gate position*

V = volume rencana pesawat yang tiba dan berangkat

U = faktor penggunaan (*utility factor*)

Untuk penggunaan secara mutual U = 0,6 – 0,8

Untuk penggunaan secara eksklusif = 0,5 - 0,6

*Gate occupancy time* untuk tiap pesawat berbeda.

Untuk pesawat kecil tanpa pelayanan T = 10 menit, sedangkan untuk pesawat besar dengan pelayanan penuh T = 60 menit.

Untuk *Through flight or no serving* T = 20 – 30 menit, untuk *Turn around flight (complete serving)* T = 40 – 60 menit.

Pengambilan harga T:

Pesawat kelas	A	T = 60 menit
	B	T = 45 menit
	C	T = 30 menit
	D = E	T = 20 menit

### Menghitung Ukuran Gate

Untuk menghitung ukuran *gate* tergantung ukuran standart pesawat berdasarkan wingspan, wheel track, forward roll, wing tip clearance.

Turning radius ( r )  
 = 1/2 (wingspan + whell track) + forward roll  
 D = (2 x r) + wing tip clearance (10)

**Menghitung Perkerasan Apron**

Dalam perencanaan menghitung perkerasaan apron menggunakan dua metode yaitu metode FAA (*Federal Aviation Administration*) dan PCA (*Portland Cement Afiation*).

Langkah-langkah yang digunakan dalam perencanaan perkerasan ini adalah sebagai berikut:

1. Buatlah ramalan annual departure dari tiap-tiap pesawat yang harus dilayani oleh bandara itu. Bagi lapangan terbang yang telah beroperasi beberapa tahun ,ramalan di buat dengan memproyeksikan kecendrungan lalu lintas yang ada ke masa depan
2. Tentukan tipe roda pendaratan untuk setiap pesawat.
3. *Maximum take off weight* dari setiap pesawat.
4. Tentukan pesawat rencana dengan prosedur seperti di bawah ini:
  - Perkiraan harga K dari sub grade
  - Tentukan *Flexural strength* beton. Pengalaman menunjukan bahwa beton dengan modulus keruntuhan 600-700 psi akan menghasilkan perkerasan yang paling ekonomis.
  - Gunakan data-data, *flexural strenght*, harga k, MTOW, dan ramalan annual departure untuk menentukan tebal slab yang dibutuhkan, yang dapat dengan memakai kurva rencana sesuai tipe pesawat yang diberikan oleh FAA.
  - Bandingkan ketebalan yang didapat untuk setiap pesawat dengan ramalan lalu lintas. Pesawat rencana adalah yang paling menghasilkan perkerasan yang paling tebal.
5. Konversikan semua model lalu lintas ke dalam pesawat rencana dengan equivalen annual departure dari pesawat –pesawat campuran tadi.
6. Tentukan *Wheel load* tiap tipe pesawat, 95% MTOW di topang oleh roda pendaratan. bagi pesawat berbadan lebar MTOW di batasi sampai 300.000 lbs (136.100 kg) dengan dual tandem.
7. Gunakan rumus:
 
$$\text{Log } R_1 = (\text{Log } R_2) \left(\frac{W_2}{W_1}\right)^{1/2} \quad (11)$$
8. Hitung total *equivalent annual departure*
9. Gunakan harga-harga: *Flexural strength*, harga K, MTOW pesawat rencana dengan *equivalent annual departure* total sebagai data untuk

menghitung perkerasa kaku dengan menggunakan perkerasan rencana yang sesuai dengan tipe roda pesawat, ketebalan yang di dapat adalah ketebalan betonnya saja, di luar *sub base*. Ketebalannya adalah untuk daerah kritis, sedang untuk daerah tidak kritis dapat di reduksi menjadi 0.9 T ( T= Tebal perkerasan).

10. Ketebalan yang didapat adalah ketebalan betonnya saja, diluar subbase. Ketebalannya adalah untuk daerah kritis “T” dan untuk daerah non-kritis ketebalannya akan direduksi 10% menjadi 0,9 T.

**Perkerasan Beton dengan Joint (Sambungan)**

Joint dikategorikan berdasarkan fungsinya, yaitu joint yang berfungsi kembang disebut *expansion joint*, untuk susut disebut *contraction joint* serta untuk perhentian waktu cor disebut *construction joint*.

**Gedung Terminal**

Gedung terminal adalah tempat untuk memberikan pelayanan bagi penumpang maupun barang yang tiba dan berangkat. Oleh karena itu perlu disediakan ruang keberangkatan, ruang kedatangan, ruang tiket, dan lain-lain.

**Tabel 3 Faktor pengali kebutuhan ruang gedung terminal**

Fasilitas Ruangan	Kebutuhan ruangan 100 m <sup>2</sup> untuk setiap 100 penumpang pada jam sibuk
Tiket/check in	1,0
Pengambilan barang	1,0
Ruang tunggu penumpang	2,1
Ruang tunggu pengunjung	2,5
Bea cukai	3,0
Imigrasi	1,0
Restoran	2,0
Operasi airline	5,0
Total ruang domestic	25,0
Total ruang internasional	30,0

(Sumber : R. Horonjeff )

**Perencanaan Gudang**

Fungsi utama dari gudang adalah tempat penumpang, barang dan paket-paket pos yang tiba maupun yang akan dikirim. Untuk perencanaan gudang standar yang dipakai adalah yang dikeluarkan oleh IAIA yaitu 0,09m<sup>2</sup>/ton/tahun untuk pergerakan barang ekspor dan 0,1m<sup>2</sup>/ton/tahun untuk barang import.

Untuk menghitung luas dari gudang tersebut diambil angka 0,1m<sup>2</sup>/ton/tahun dikali dengan pos paket + barang.

**Perencanaan Area Parkir**

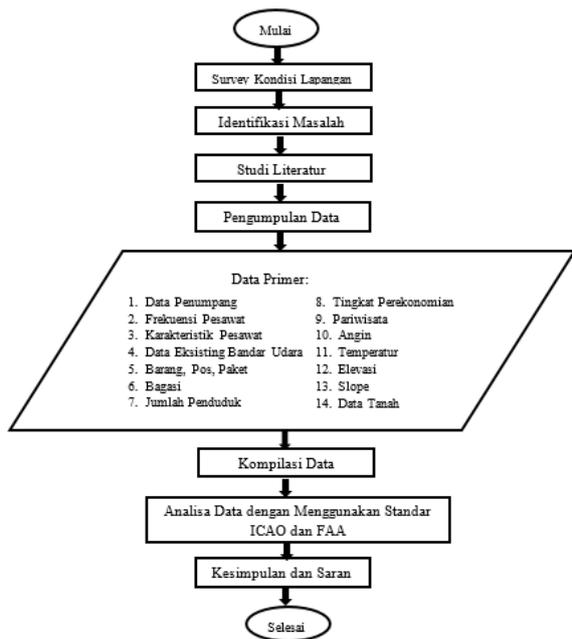
Untuk merencanakan luas parkir kendaraan, terlebih dahulu dihitung besarnya jumlah penumpang pada jam sibuk. Maka diperkirakan untuk 2 orang penumpang menggunakan 1 kendaraan. Sedangkan luas rata-rata parkir 1 kendaraan adalah (2,6 × 5,5 ) m.

**METODOLOGI PENELITIAN**

**Metode Penelitian**

Penulisan skripsi ini disusun dengan didukung oleh data atau informasi yang didapat berdasarkan:

- Study literatur : Membaca buku dan tulisan ilmiah yang berhubungan dengan penulisan ini.
- Data primer : Data yang diperoleh langsung dari hasil observasi penulis di lapangan.
- Data sekunder : Data yang diperoleh dari kantor instansi terkait yaitu BPS, BMKG dan Bandar udara Wamena.



Gambar 1 Bagan Alir

**Metodologi Pelaksanaan Penelitian**

Penelitian dilakukan dengan cara mengumpulkan data yang diperlukan untuk perencanaan pengembangan Bandar Udara Mutiara Sis Al-Jufri Palu. Data-data tersebut diambil pada bagian administrasi kantor Bandar Udara Mutiara Sis Al-Jufri Palu, instansi-instansi terkait atau dengan mengadakan tinjauan langsung ke lapangan.

Perencanaan panjang landas pacu (*runway*), didasarkan pada data pesawat rencana dan dikoreksi terhadap faktor elevasi, slope dan temperatur. Peraturan dan persyaratan yang digunakan dalam perencanaan ini mengacu pada ICAO (*Internasional Civil Aviation Organization*).

Perencanaan *Taxiway*, didasarkan pada data pesawat rencana dan berpedoman pada syarat yang dikeluarkan oleh ICAO.

Perencanaan perkerasan (*flexibel pavement*), didasarkan pada data pesawat rencana dan data tanah. Yang mengacu pada metode yang dikembangkan oleh FAA (*Federal Aviation Administration*).

Sedangkan untuk perencanaan terminal area beserta fasilitas yang akan diperlukan didasarkan pada hasil analisa perkembangan arus lalu lintas udara serta jumlah gerakan pesawat terbang dan penumpang pada jam sibuk dimasa yang akan datang.

**Analisa Data**

Dari data-data yang diperoleh, kita dapat memperkirakan dikemudian hari bagaimana ramalan dan permintaan (*Forecast and demand*) yang akan terjadi. Data-data tersebut dapat dianalisa dengan menggunakan metode statistik yang populer seperti analisa regresi. Dimana dengan menggunakan analisa regresi kita dapat meramalkan perkembangan arus lalu lintas udara untuk masa yang akan datang.

Pada dasarnya ramalan dapat dibagi menjadi tiga, yaitu :

- a. Ramalan jangka pendek sekitar 5 tahun
- b. Ramalan jangka menengah sekitar 10 tahun
- c. Ramalan jangka panjang sekitar 20 tahun

Dalam meramalkan atau memperkirakan arus lalu lintas udara dimasa datang kita dapat menggunakan perhitungan/analisa statistik yaitu *Analisa Trend ( trend method )*. Analisa trend adalah analisa yang meramalkan kecenderungan yang terjadi dari data-data yang ada saat ini. Dengan mengetahui kecenderungan data yang akan datang berdasarkan garis trend atau garis regresi. Analisa trend yang akan digunakan pada perencanaan pengembangan ini adalah :

- a. Trend Linear
- b. Trend Eksponensial
- c. Trend Logaritma

**Trend Linear**

Bentuk persamaan :  $Y = a + bx$

Dimana : a dan b = koef regresi

x= tahun yang akan ditinjau

Y = hasil ramalan

Rumus untuk menghitung a dan b :

$$a = \frac{(\sum Y)(\sum X^2) - (\sum X)(\sum XY)}{n(\sum X^2)(\sum X)^2}$$

$$b = \frac{n[\sum (XY)] - (\sum X)(\sum Y)}{n(\sum X^2)(\sum X)^2}$$

Rumus untuk menghitung korelasi :

$$r = \frac{n[\sum (XY)] - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{[n.\sum X^2 - (\sum X)^2][n.\sum Y^2 - (\sum Y)^2]}}$$

Dimana :  $-1 \leq r \leq 1$

### Trend Eksponensial

Bentuk persamaan :  $Y = a \cdot k^x$

Dimana : a dan k = bilangan tetap, maka persamaan itu dapat diubah menjadi :

$$Y = a \cdot e^{bx}$$

Dimana :

e = Bilangan tetap 2,718281828459045

x = Tahun yang akan ditinjau

Y = Hasil ramalan

Persamaan ini diubah menjadi :

$$\text{Log} Y = \text{Log} B + (\text{Log} B) X$$

Rumus untuk menghitung a dan b :

$$\text{Log} a = \frac{\sum (\text{Log} Y)}{n}$$

$$\text{Log} b = \frac{\sum (\text{Log} Y)}{x^2}$$

Untuk menghitung r :

$$r = \frac{n.\sum (x \log Y) - (\sum x)(\sum \log Y)}{\sqrt{[n.\sum X^2 - (\sum X)^2][n.\sum (\log Y)^2 - (\sum \log Y)^2]}}$$

Dimana :  $-1 \leq r \leq 1$

### Trend Logaritma

Bentuk persamaan :

$$y = a + b \ln x$$

Dimana :

a dan b = Koefisien regresi

X = Tahun yang akan ditinjau

y = Hasil ramalan

$$b = \frac{n(\sum y) \ln x - (\sum y) \sum (\ln x)}{n(\sum \ln x)^2 - (\sum \ln x)^2}$$

$$a = \frac{\sum y - b \cdot \sum \ln x}{n}$$

Menghitung r :

$$r = \frac{n \cdot \sum y \ln x - \sum \ln x \cdot \sum y}{\sqrt{[n \sum (\ln x)^2 - (\sum \ln x)^2][n \cdot \sum y^2 - (\sum y)^2]}}$$

Dimana :  $-1 \leq r \leq 1$

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Kondisi Eksisting Bandar Udara Mutiara Sis Al-Jufri Palu

Nama Kota	: Palu
Nama Bandara	: Mutiara Sis Al-Jufri
Kelas Bandara	: I (Satu)
Pengelola	: Ditjen Perhubungan Udara
Jam Operasional	: 07.00 – 24.00 WITA
Klasifikasi Operasi	: <i>Non Precision</i>
Kemampuan Operasi	: 40/F/C/X/T
Pelayanan	: APP
Kordinat Lokasi	: S 00°55' – E 119°54.37'
Runway Area ( Daerah Landasan Pacu):	
Panjang Runway	: (2.360 m x 45 m)
Lebar Runway	: 45m
Jenis Konstruksi	: <i>Asphalt Concrete</i>
Arah Landasan	: 15 > < 33
Taxiway (Landas Hubung):	
Panjang x Lebar	: 2 x (98 x 23) m
Konstruksi	: <i>Asphalt Concrete</i>
Apron :	
	a) 373m x 78m
	b) 260m x 79m

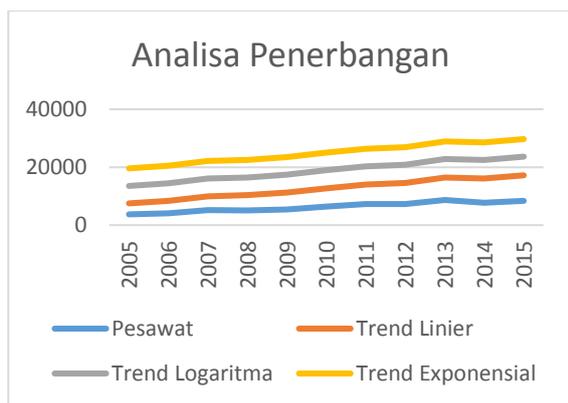
### Analisa Arus Lalu Lintas Udara Tahunan Analisa Penerbangan

Data pergerakan pesawat yang tiba dan berangkat di Bandar Udara Mutiara Sis Al-Jufri adalah sebagai berikut:

Tabel 4 Data Penerbangan Tahun 2005-2015

Tahun	Pesawat
2005	3.719
2006	4.070
2007	5.183
2008	5.046
2009	5.414
2010	6.430
2011	3.616
2012	3.622
2013	4.338
2014	3.879
2015	4.204

(Sumber : Kantor Bandar Udara Mutiara Sis Al-Jufri Palu)



Gambar 2. Diagram Pergerakan Pesawat

Dari tabel perhitungan hasil regresi analisa pesawat diatas menunjukkan bahwa yang mempunyai koefisien korelasi terbesar dan yang mendekati data awal adalah analisa regresi Eksponensial dengan  $r = 0,967$ . Jadi untuk meramalkan jumlah penerbangan dimasa yang akan datang maka digunakan persamaan regresi Linier dengan persamaan yang dipakai adalah :  $Y = 6289,27 + 499,01 x$ .

Tabel 5 Ramalan Jumlah Penerbangan

Tahun	X	Regresi Linier
2020	10	11.279
2025	15	13.774
2030	20	16.269

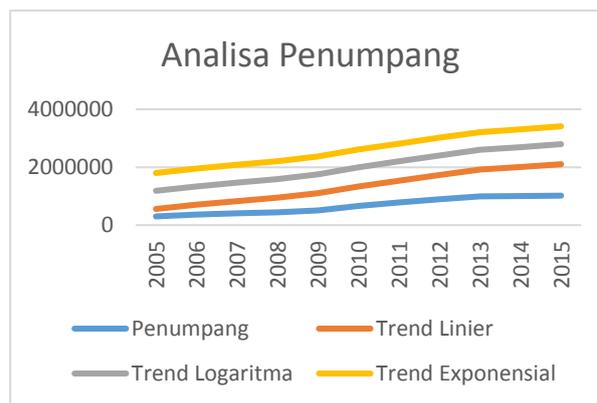
### Analisa Penumpang

Data-data penumpang yang datang dan berangkat di Bandar Udara Mutiara Sis Al-Jufri adalah sebagai berikut:

Tabel 6 Data Penumpang Tahun 2009-2014

Tahun	Penumpang
2005	300.856
2006	364.477
2007	405.141
2008	440.023
2009	509.285
2010	666.871
2011	781.464
2012	891.270
2013	997.448
2014	1.003.819
2015	1.017.467

(Sumber : Kantor Bandar Udara Mutiara Sis Al-Jufri Palu)



Gambar 3 Diagram Pergerakan Penumpang

Dari tabel perhitungan hasil regresi analisa pesawat diatas menunjukkan bahwa yang mempunyai koefisien korelasi terbesar dan yang mendekati data awal adalah analisa regresi Eksponensial dengan  $r = 0,982$ . Jadi untuk meramalkan jumlah penumpang dimasa yang akan datang maka digunakan persamaan regresi Linier dengan persamaan yang dipakai adalah :  $Y = 670738,27 + 82654,7 x$ .

Tabel 7 Ramalan Jumlah Penumpang

Tahun	X	Regresi Linier
2020	10	1.497.285
2025	15	1.910.558
2030	20	2.323.832

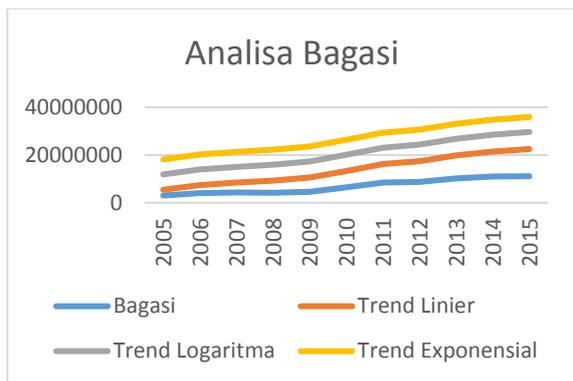
### Analisa Bagasi

Data bagasi yang masuk dan keluar pada Bandar Udara Mutiara Sis Al-Jufri adalah sebagai berikut.

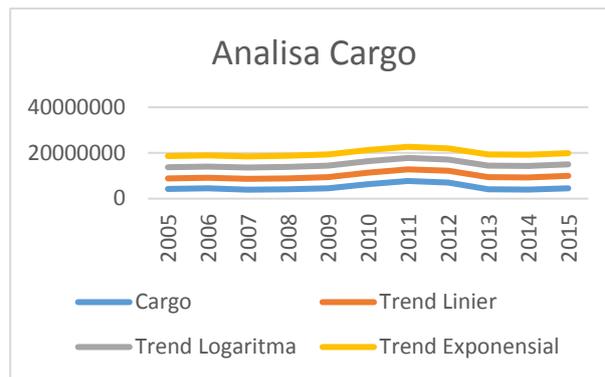
Tabel 8 Data Bagasi Tahun 2009-2014

Tahun	Bagasi
2005	3.035.301
2006	4.081.378
2007	4.275.260
2008	4.148.336
2009	4.537.128
2010	6.438.358
2011	8.412.980
2012	8.711.947
2013	10.224.765
2014	10.970.118
2015	11.101.633

( Sumber : Kantor Bandar Udara Mutiara Sis Al-Jufri Palu)



Gambar 4 Diagram Pergerakan Bagasi



Gambar 5 Diagram Pergerakan Cargo

Dari tabel perhitungan hasil regresi analisa pesawat diatas menunjukkan bahwa yang mempunyai koefisien korelasi terbesar dan yang mendekati data awal adalah analisa regresi Eksponensial dengan  $r = 0,972$ . Jadi untuk meramalkan jumlah bagasi dimasa yang akan datang maka digunakan persamaan regresi Linier dengan persamaan yang dipakai adalah :

$$Y = 6267080,2 * 1,14^x.$$

Tabel 9 Ramalan Jumlah Bagasi

Tahun	X	Regresi Eksponensial
2020	10	6.267.084
2025	15	6.267.088
2030	20	6.267.096

### Analisa Cargo

Data cargo yang masuk dan keluar pada Bandar Udara Mutiara Sis Al-Jufri adalah sebagai berikut:

Tabel 10 Data Cargo Tahun 2009-2014

Tahun	Cargo
2005	4.245.261
2006	4.471.041
2007	3.914.621
2008	4.090.442
2009	4.532.984
2010	6.395.803
2011	7.728.856
2012	6.990.807
2013	4.141.044
2014	3.957.580
2015	4.562.706

( Sumber : Kantor Bandar Udara Mutiara Sis Al-Jufri Palu)

Dari tabel perhitungan hasil regresi analisa pesawat diatas menunjukkan bahwa yang mempunyai koefisien korelasi terbesar dan yang mendekati data awal adalah analisa regresi Linier dengan  $r = 0,204$ . Jadi untuk meramalkan jumlah cargo dimasa yang akan datang maka digunakan persamaan regresi Linier dengan persamaan yang dipakai adalah :

$$Y = 5002831,3 + 83720,4 x.$$

Tabel 11 Ramalan Jumlah Cargo

Tahun	X	Regresi Linier
2020	10	5.840.036
2025	15	6.258.638
2030	20	6.677.240

### Perencanaan Runway

Runway adalah jalur perkerasan yang dipergunakan oleh pesawat terbang untuk mendarat (*landing*) atau lepas landas (*take off*). Ukuran *runway* yang ada pada Bandara Mutiara Sis Aljufri sekarang adalah  $2.360 \times 45$ .

### Arah Runway

Untuk menentukan *runway* hal yang sangat penting diperhatikan adalah arah dan kecepatan angin. Sesuai dengan data yang telah didapatkan dari Kantor Bandar Udara Mutiara Sis Al-Jufri Palu, bandara ini memiliki arah runway 15-33.

### Panjang Runway

Dalam perencanaan pengembangan Bandar Udara Mutiara Sis Al Jufri Palu direncanakan akan didarati oleh pesawat Airbus A-330 dengan kode landasan 4E, yang mempunyai ARFL 2.713 m. Namun ARFL ini masih harus dikoreksi terhadap elevaasi, temperatur, dan *slope* sesuai dengan kondisi bandar udara bersangkutan.

Adapun data-data yang diperlukan adalah sebagai berikut:

- Pesawat Rencana = Airbus A 330-200

- Lo (ARFL) = 2.713 m
- Elevasi = 86 m
- Slope = 1 %
- $T_{ref} = 27,76^\circ C$

**Koreksi terhadap elevasi**

$$L1 = L0 \times (1 + \frac{7}{100} \times \frac{H}{300})$$

$$= 2713 \times (1 + \frac{7}{100} \times \frac{86}{300})$$

$$= \mathbf{2767.44 \text{ m}}$$

**Koreksi terhadap temperatur**

$$L2 = L1 \times [1 + 0,01 \times (T_{ref} - (15 - 0,0065 H))]$$

$$= 2767.44 \times [1 + 0,01 \times (27,76 - (15 - 0,0065 \times 86))]$$

$$= \mathbf{3136.035334 \text{ m}}$$

**Koreksi terhadap slope**

$$L3 = L2 \times (1 + 0,1 \times \text{slope})$$

$$= 3136.035334 \times (1 + 0,1 \times 1)$$

$$= 3449.638867 \text{ m} \approx \mathbf{3450 \text{ m}}$$

Dari hasil perhitungan koreksi terhadap elevasi, temperatur dan *slope* maka didapat panjang runway yang dibutuhkan pesawat rencana A 330-200 dengan muatan penuh adalah **3143 m**, sedangkan Bandar Udara Mutiara Sis Al Jufri yang ada saat ini adalah **2360 m**. Sehingga untuk dapat didarati oleh pesawat A 330-200, maka perlu diadakan pengembangan panjang *runway* sebesar **783 m**.

**Lebar runway**

Sesuai dengan *Aerodrome Reference Code* yang dikeluarkan ICAO untuk ARFL 1.200 - < 1.800 m, **kode angka 2 dan kode huruf C untuk A 330-200 dengan kode landasan 4E, yang mempunyai ARFL = 2.713 m dengan kriteria wingspan (60.3 m) dan outer main gear wheel span (12 m)**. Dari kategori ini bandar udara Mutiara Sis Al Jufri direncanakan mempunyai:

- Lebar landasan = 45 m
- Lebar bahu landasan = 7,5 m
- Kemiringan melintang = 1,5%
- Kemiringan Bahu = 2,5%

**Menentukan Lebar Exit Taxiway**

*Exit taxiway* ditentukan berdasarkan jarak yang diperlukan pesawat sejak menyentuh *Threshold* sampai pesawat dengan kecepatan tertentu bisa memasuki *taxiway*.

Dalam menentukan *exit taxiway* di gunakan data-data sebagai berikut:

Pesawat rencana **A 330-200** dengan *design group* C.

$$S1 = 252 \text{ km/h}$$

$$= (252 \times 1000) / 3600 = 70$$

m/dt

$$S2 = 32 \text{ km/h} = 9 \text{ m/det}$$

$$A = 1,5 \text{ m/det}^2 = 2.25 \text{ m/dt}$$

$$\text{Jarak touchdown} = 450 \text{ m}$$

Diperoleh:

$$D = \frac{(70)^2 - (9)^2}{2 \times 2.25} = 1070,89 \text{ m}$$

$$\text{Distance to Exit Taxiway} = 450 + 1070,89 = 1520,89 \text{ m} \approx \mathbf{1521 \text{ m}}$$

Jadi L0 = 1521 m, L0 dihitung berdasarkan kondisi standart *sea level*, lokasi *Exit taxiway* setelah dikoreksi terhadap elevasi dan temperature adalah sebagai berikut:

- Koreksi terhadap elevasi:

$$L1 = 1520,89 \times (1 + 0.03 \times \frac{86}{300})$$

$$= 1533,96 \text{ m}$$

- Koreksi terhadap temperatur:

Syarat ICAO setiap kenaikan 5,6° C diukur dari 15° C, jarak bertambah 1%.

$$L2 = 1533,96 \times \left[ 1 + 0.01 \times \frac{(27,76 - 15)}{5.6} \right]$$

$$L2 = 1568,91 \text{ m} \approx \mathbf{1569 \text{ m}}$$

Jadi Bandar Udara Mutiara Sis Al-Jufri direncanakan akan membutuhkan jarak dari *threshold* sampai titik awal *exit taxiway* dengan pesawat rencana A 330-200 adalah **1569 m**. Dengan cara perhitungan yang sama untuk perhitungan pesawat kecil (DHC-6) dari arah 33 dengan data Distant to exit taxiway = 300m, S1= 167 km/jam, S2 = 27 km/jam, dan a = 1,5 m/det di dapat L= 1.191,743571m ≈ **1.192m**.

**Lebar Taxiway**

Lebar taxiway dan lebar total taxiway termasuk shoulder sesuai dengan yang ditetapkan ICAO adalah sebagai berikut ;

**Tabel 12 Lebar Taxiway**

Description	Code Letter				
	E	D	C	B	A
Taxiway width	23 m	23 m a)	18 m c)	10,5 m	7,5m
Overall width of taxiway and shoulders	44 m	18 m b)	15 m d)	-	-
		38 m	25 m		

(Sumber : (H. Basuki, 1984)

Berdasarkan pesawat rencana A 330-200 yang akan mendarat di Bandar Udara Mutiara Sis Al-Jufri termasuk dalam kategori kelas 4D.

Lebar taxiway = 23 m

Lebar total taxiway dan shoulder = 38 m

Jarak minimum antara landasan pacu dan landas hubung dapat diperoleh dengan persamaan:  
 $Jrt = 0,5 \times (LS + W_1)$

Dimana :

LS = lebar strip area total

$W_1$  = lebar wingspan pesawat rencana

**Tabel 13 Lebar Runway Strip**

Kode Angka	Jenis Pendekat	Lebar Runway Strip
1	Instrument	150 m
2	Instrument	150 m
3 dan 4	Instrument	300 m

(Sumber : (H. Basuki, 19840)

Dari tabel tersebut diperoleh *runwaystrip* untuk lapangan terbang dengan kode angka 4 untuk jenis pendekat instrument adalah 150 m dengan lebar total 300m. maka klasifikasi bandara kode angka 4 lebar total 300 m dan  $W_1 = 28,9$  m.

$$Jrt = 0,5 \times (LS + W_1)$$

$$= 0,5 \times (300 + 60,3)$$

$$= 180,15 \text{ m}$$

**Perencanaan Fillet**

Fillet merupakan pelebaran sebelah dalam pada *intersection* dari dua atau lebih pada *traffic way*, misalnya *runway*, *taxiway*, dan *apron*. Persyaratan dari ICAO bahwa radius *fillet* tidak boleh lebih kecil dari lebar *taxiway*. Sedangkan FAA mensyaratkan bahwa radius *fillet* antara runway dan taxiway dapat dilihat pada tabel berikut ini :

**Tabel 14 Radius fillet pada pertemuan runway dengan taxiway**

Angle of Intersection	Radius of Fillet			
	Small airport serving general aviation aircraft		Large airport serving transport category aircraft	
	(m)	(ft)	(m)	(ft)
0 - 45°	7.5	15	22.5	75
45 - 135°	15.0	50	30.0	100
More than 135°	60.0	200	60.0	200

(Sumber : Khana S. K and Aurora, "Airport and Planning", hal 146)

**PENUTUP**

**Kesimpulan**

Hasil perhitungan Perencanaan Pengembangan Sisi Udara Bandar Udara Mutiara Sis Al-Jufri di Kota Palu Provinsi Sulawesi Tengah didapat kesimpulan sebagai berikut:

1. Arah landas pacu dengan azimuth 15-35 telah memenuhi syarat ICAO yaitu minimal 95%

arah angin dominan yang bertiup pada daerah tersebut.

2. Panjang landas pacu sesuai dengan pesawat rencana yaitu A 330-200 adalah sepanjang 3450 meter.
3. Lebar landas pacu yang dibutuhkan adalah 45 meter, dan lebar bahu landasan adalah 7,5 meter kekiri dan 7,5 meter kekanan, sehingga total lebar landas pacu adalah 60 meter.
4. Jarak dari *threshold* sampai titik awal *exit taxiway* adalah 1569 meter
5. Lebar *taxiway* yang dibutuhkan adalah 23 m Lebar total *taxiway* ditambah *shoulder* adalah 38 meter.
6. Panjang *taxiway* yang dibutuhkan 185 meter.
7. Konstruksi perkerasan untuk perpanjangan landas pacu adalah sebagai berikut:
  - Daerah kritis :
    - Surface Coarse* = 4 inch= 10 Cm
    - Base Coarse* = 20 inch= 51 Cm
    - Sub Base Coarse*= 23 inch= 59 Cm
  - Daerah non kritis :
    - Surface Coarse* = 3.5 inch= 9 Cm
    - Base Coarse* = 18 inch= 46 Cm
    - Sub Base Coarse*= 20,8 inch= 53 Cm
  - Daerah pinggir :
    - Surface Coarse* =2.75 inch=7 Cm
    - BaseCoarse* =14,17inch=36Cm
    - Sub Base Coarse*= 16,5 inch= 42 Cm
8. Luas *apron* dibutuhkan adalah  $141 \times 312,4$  m = 44.062,5 m<sup>2</sup>.
9. Tebal perkerasan *apron* dengan metode PCA dengan *working stress* = 334 Psi adalah 9,5 inch = 24,13 cm.
10. Luas gedung terminal yang dibutuhkan minimum seluas 106.074 m<sup>2</sup>
11. Luas minimum gudang adalah 627 m<sup>2</sup> .
12. Luas minimum pelataran parkir yang dibutuhkan adalah 18.275,4 m<sup>2</sup>.

**Saran**

Berdasarkan hasil survey yang dilakukan oleh penulis terhadap keadaan Bandar Udara Mutiara Sis Al-Jufri saat ini, maka penulis ingin memberikan beberapa saran untuk kepentingan pengembangan.

1. Mengingat rencana pemerintah yang akan menjadikan Bandar Udara Mutiara Sis Al-Jufri sebagai bandara embarkasi haji, maka pemerintah perlu memasukkan pesawat yang melayani penerbangan luar negeri, sebagai contoh pesawat Airbus A 330-200.
2. Bandar Udara Mutiara Sis Al-Jufri perlu meningkatkan fasilitas perlampuan dan

- pemarkaan, sehingga layanan penerbangan bisa ditingkatkan baik di malam hari maupun di siang hari.
3. Pada perencanaan ini direncanakan untuk 20 tahun kedepan yaitu mulai dari tahun 2015 sampai dengan tahun 2030, sehingga diatas dari tahun 2030 perlu diadakan evaluasi kembali untuk pengembangan Bandar Udara Mutiara Sis Al-Jufri

#### DAFTAR PUSTAKA

- Ashford, N, J. Mumayiz, S, A dan Wright, P, H. 2011. *Airport Engineering*. Fourth Edition. New Jersey
- Basuki, H. 1986. *Merancang Merencana Lapangan Terbang*. Alumni Bandung
- Direktorat Jenderal Perhubungan Udara. 2015. *Informasi Data Bandara*. Bandar Udara Mutiara Sis Al-Jufri. Palu
- Doda, Yudy. Desei, Frice, L dan Kaharu, Anton. 2013. *Perencanaan Runway, Taxiway, dan Apron Bandar Udara Jalaludin Gorontalo*. Universitas Negeri Gorontalo
- Direktorat Jenderal Perhubungan Udara. 2015. *Informasi Data Bandara*. Bandar Udara Mutiara Sis Al-Jufri. Palu
- Data Klimatologi. 2011-2015. Kantor BMKG Stasiun Klimatologi Bandar Udara Mutiara Sis Al-Jufri Palu
- Federal Aviation Administration. 2011. *A Quick Reference: Airfield Standards*. Second Edition. Washington, DC
- Hidayat, D, R. 2014. *Analisis dan Perencanaan Runway dan Alat Bantu Pendaratan Bandar Udara Nusawiru Kabupaten Pangandaran*. Universitas Siliwangi.
- Horonjeff, R. 1975. *Planning and Design of Airport*. Second Edition. New York Mac Graw – Hill Book Company
- [https://id.wikipedia.org/wiki/Bandar\\_Udara\\_Mutiara\\_SIS\\_Al-Jufrie](https://id.wikipedia.org/wiki/Bandar_Udara_Mutiara_SIS_Al-Jufrie)
- [https://id.wikipedia.org/wiki/Landas\\_pacu](https://id.wikipedia.org/wiki/Landas_pacu)
- <https://www.kemenag.go.id/>
- International Civil Aviation Organization (ICAO). 2013. *Aerodromes Annex 14 Volume I Aerodrome Design and Operations*. Sixth Edition. Canada
- Permana, S, J dan Hidyastutui, H. 2013. *Studi Perencanaan Pengembangan Landas Pacu (Runway) dan Landas Hubung (Taxiway) Bandara Abdulrachman Saleh Malang*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Proyeksi Penduduk Kabupaten/Kota Provinsi Sulawesi Tengah. 2010-2020. Badan Pusat Statistik
- Pongsipulung, Irwan, L. 2016. *Perencanaan Pengembangan Bandar Udara Wasior di Kabupaten Teluk Wondama Propinsi Papua Barat*. Universitas Sam Ratulangi
- Wardhani, S, H. 1992. *Airport Engineering*. Civil Engineering Gadjah Mada University