

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 PENELITIAN DAN PERENCANAAN TERDAHULU**

Berikut ini adalah penelitian terdahulu yang dipakai sebagai acuan untuk menyelesaikan permasalahan pada tugas akhir ini, antara lain :

1. Dondokambey (2013)

Dondokambey (2013), melakukan studi Perencanaan Pengembangan Bandar Udara di Bandar Udara Sepinggang Balikpapan. Dalam merencanakan pengembangan suatu lapangan terbang harus memperkirakan arus lalu lintas dimasa yang akan datang. Oleh karena itu, penelitian yang akan dilakukan bersifat *research*. Dengan menganalisa data lima tahun jumlah pesawat, penumpang, bagasi dan *cargo* menggunakan analisa regensi, dapat diramalkan arus lalu lintas dimasa yang akan datang sehingga pengembangan bandar udara dapat diketahui perlu dilakukan atau tidak. Berdasarkan data – data primer yang diperoleh dari bandara seperti data klimatologi, data karakteristik pesawat, data tanah dan data *existing* bandara digunakan sebagai acuan merencanakan pengembangan bandar udara.

Maksud dan tujuan dari penelitian ini adalah merencanakan pengembangan lapangan terbang yang berada di Kota Balikpapan Propinsi Kalimantan Timur, yaitu Bandar Udara Sepinggang, dengan pesawat jenis Boeing 747 – 400 sebagai pesawat rencana, dan hasil ramalan *forecast* untuk jumlah pengunjung bandara. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang berharga dalam bidang transportasi, khususnya dalam mendesain dan merencanakan pengembangan suatu bandar udara.

Hasil analisa data Bandar Udara Internasional Sepinggang Balikpapan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- a. Peramalan pesawat, penumpang, bagasi dan *cargo* untuk 15 tahun mendatang, tahun 2026 :

Pesawat	= 219.936 pesawat per tahun
Penumpang	= 15.525.446 penumpang per tahun
Bagasi	= 75.664 kg per tahun
<i>Cargo</i>	= 370.258 kg per tahun
- b. Hasil perhitungan untuk pengembangan
  - Panjang landas pacu yang dibutuhkan untuk pesawat rencana Boeing 747 – 400 adalah 3.949 meter.

- Lebar landas pacu yang dibutuhkan adalah 45 meter. Lebar landas pacu ditambah bahu landasan adalah 60 meter.
- Jarak dari *threshold* sampai titik awal *exit taxiway* adalah 2.194,5 meter.
- Lebar *taxiway* yang dibutuhkan adalah 23 m. Lebar total *taxiway* ditambah *shoulder* adalah 38 meter.
- Jarak antara sumbu landasan dan *taxiway* yang dibutuhkan 185 meter.
- Luas *apron* dibutuhkan adalah  $750,5 \times 164 \text{ m} = 123.082 \text{ m}^2$ .

## 2. Tulungen, dkk (2016)

Tulungen, dkk (2016), melakukan studi Perencanaan Perkembangan Bandar Udara Melonguane Kabupaten Kepulauan Talaud Provinsi Sulawesi Utara. Dalam merencanakan pengembangan suatu lapangan terbang harus memperkirakan arus lalu lintas dimasa yang akan datang. Dengan menganalisa data lima tahun jumlah penumpang, bagasi dan *cargo* menggunakan analisa regresi dapat diramalkan arus lalu lintas dimasa yang akan datang sehingga pengembangan bandar udara dianggap perlu dilakukan atau tidak. Berdasarkan data – data primer yang diperoleh dari bandara seperti data klimatologi, data karakteristik pesawat, data tanah, keadaan topografi dan data *existing* bandara digunakan sebagai acuan dalam merencanakan pengembangan bandar udara.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merencanakan pengembangan lapangan terbang yang berada di Kabupaten Talaud Propinsi Sulawesi Utara yaitu Bandar Udara Melonguane, dengan pesawat jenis Boeing 737 – 800 sebagai pesawat rencana. Boeing 737 – 800 digunakan karena sesuai informasi dari pimpinan Bandar Udara Melonguane akan disiapkan untuk didarati pesawat berbadan besar seperti B737 – 800 dan juga untuk pesawat berbadan besar yang tersedia di Indonesia khususnya di bandara terbesar terdekat yaitu Bandar Udara Sam Ratulangi yang beroperasi sekarang kebanyakan Boeing 737 – 800. Hal ini juga didukung oleh ketersediaan lahan yang masih cukup luas untuk pengembangannya dan juga guna mengantisipasi lonjakan arus penumpang yang terjadi.

Berdasarkan hasil perhitungan yang mengacu pada standar *Internasional Civil Aviation Organization* (ICAO) dengan pesawat terbang rencana Boeing 737 – 800 maka dibutuhkan panjang landasan sebesar 2.656 m, lebar landasan sebesar 51 m dan jarak antara sumbu landasan pacu dan sumbu landasan hubung sebesar 170 m, lebar total *taxiway* sebesar 25 m dengan tebal perkerasan lentur 70 cm, luas

*apron*  $102 \times 93 = 9.486 \text{ m}^2$ , tebal perkerasan rigid pada *apron* dengan metode *Federal Aviation Administration* (FAA) sebesar 35 cm, sedangkan dengan metode *Portland Cemen Asosiation* (PCA) sebesar 41 cm, luas terminal penumpang  $5.400 \text{ m}^2$ , luas gudang sebesar  $32 \text{ m}^2$  dan luas pelataran parkir  $1.000 \text{ m}^2$ .

### 3. Wicaksono, dkk (2010)

Wicaksono, dkk (2010), melakukan studi Alternatif Perencanaan Fasilitas Sisi Udara Bandar Udara Blimbingsari di Kabupaten Banyuwangi. Untuk melayani tingkat kebutuhan transportasi yang menuntut kecepatan mobilitas masyarakat di masa yang akan datang, maka untuk memfasilitaskan pergerakan manusia dan barang sebagai konsekuensi dari usaha peningkatan dan pengembangan sumber daya alam dan manusia dipilih transportasi udara. Untuk kebutuhan sarana transportasi udara pemerintah Kabupaten Banyuwangi dengan bertambahnya jumlah penumpang.

Tujuan studi ini adalah mengevaluasi fasilitas sisi udara yang meliputi *runway*, *taxiway*, *apron* dan perkerasan dalam rangka tahap pengembangan tersebut agar dapat memenuhi kebutuhan jasa penerbangan di tahun yang akan datang. Dalam studi ini pesawat rencana adalah Boeing 737 – 500 untuk penerbangan domestik. Umur rencana ditentukan 20 tahun. Peramalan penumpang dilakukan dengan metode regresi linier. Dari hasil peramalan didapat :

- a. Penerbangan kedatangan tahun 2028 sejumlah 7 pesawat rata – rata per hari.
- b. Penerbangan keberangkatan tahun 2028 sejumlah 8 pesawat rata – rata per hari.

Perhitungan perencanaan fasilitas sisi udara menggunakan metode FAA. Dari hasil analisis didapatkan bahwa :

- a. Panjang *runway* rencana adalah 3.000 m, lebih panjang dari *runway* eksisting (2.250 m). Kebutuhan lebar *runway* adalah 30 m, sama dengan lebar *runway* eksisting (30 m).
- b. *Taxiway* rencana dengan lebar 30 m, lebih panjang dari *taxiway* eksisting (23 m). Jumlah *taxiway* rencana sebanyak 2 buah, lebih banyak dari *taxiway* eksisting (1 buah).
- c. *Apron* eksisting seluas  $180 \times 80 \text{ m}$ , sedangkan hasil perhitungan didapat  $220 \times 100 \text{ m}$ . Pintu *apron* (*apron – gate*) rencana didapat 4 pintu tipe Tahap I (30,6 cm) dan Tahap II (31,7 cm), serta area transisi Tahap I (23,6 cm) dan Tahap II (23,9 cm). Tebal perkerasan eksisting adalah 78 cm (area

kritis), 57 cm (area nonkritis) dan 38 cm (area transisi). Hasil A untuk penerbangan.

- d. Tebal perkerasan yang didapat berdasarkan hasil perhitungan adalah pada area kritis Tahap I (37 cm) dan Tahap II (38,4 cm), area nonkritis perhitungan yang didapat lebih kecil dari kondisi eksisting.

#### 4. Rahim (2015)

Rahim (2015), melakukan studi *An Analysis of Runway Capacity at Internasional Airport Sultan Aji Sulaiman Balikpapan in East Kalimantan-Indonesia*. Pertumbuhan pergerakan pesawat selama 5 tahun terakhir yaitu 12,20%. Pertumbuhan ini berdampak pada layanan lalu lintas udara di masa yang akan datang mengingat runway yang mencakup operasi landasan tunggalnya didukung 5 *exit taxiways*, sehingga kapasitas landasan terbatas.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menemukan konsep peningkatan kapasitas melalui metode analisis *runway occupancy time landing* (ROTL), *runway occupancy time take off* (ROTT) konfigurasi *exit taxiway*.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa kapasitas *runway* dapat ditingkatkan dari 21 hingga 28 pergerakan pesawat terbang dari pergerakan pesawat terbang melalui rekonstruksi *exit taxiway delta* ke *rapid exit taxiway delta*.

#### 5. Padmaja, dkk (2017)

Padmaja, dkk (2017), melakukan studi *Runway Design For An Internasional Airport* di Bandara Gannavaram, Andhra Pradesh India. Pengembangan bandara diperlukan untuk mengeopersikan penerbangan internasional seperti pesawat Boeing 747 – 400 ke negara – negara asing, sedangkan Bandara Gannavaram tidak cukup untuk mengoperasikan pesawat tersebut.

Tujuan ini adalah memperluas landasan pacu dan pembangunan gedung terminal bersama *aerodrome* untuk kenyamanan penumpang yang datang dari berbagai negara.

Hasil dari penelitian ini adalah :

- Sampel tanah yang dipilih dapat di klasifikasikan sebagai (Kompresibilitas Menengah) CI.
- Menambahkan moorum ke tanah sub grade, nilai CBR meningkat hingga 10%.

- Dari data angin, orientasi landasan disediakan sebagai arah 08./26.
- Untuk bandara, panjang lapangan seharusnya adalah 4.195 m yang memiliki kode referensi 'D'.
- Total ketebalan perkerasan dengan tanah stabil adalah 93,75 cm, dimana ketebalan total untuk tanah stabilisasi adalah 68,7 cm.
- Ketebalan perkerasan yang diperoleh dari tanah stabil emberikan 23% lebih sedikit dari tanah yang tidak diolah.

#### 6. Sandar dan Tun (2014)

Sandar dan Tun (2014), melakukan studi *Geometric Design of Runway for Nay Pyi Taw Airport*. Dalam pengembangan transportasi, Geometrik *runway* diperlukan oleh Bandara Nay Pyi Taw. Dalam studi ini, menggunakan dua metode ICAO dan FAA. Atas dasar intensitas angin, durasi dan arah, diagram *wind rose* dipilih menggunakan Metode I dan Metode II dari Virendra Kumar dan Satish Chandra. Data angin diperoleh dari departemen Meteorologi dan Hidrologi selama lima tahun.

Tujuan dari penelitian ini adalah diharapkan pendaratan dan *take off* Boeing 747 – 400 di Bandara International Nay Pyi Taw serta dapat memberikan efisiensi optimal dalam operasi lalu lintas dengan keadaan minimum.

Hasil dari penelitian ini adalah untuk dasar intensitas angin, arah dan durasi, orientasi *runway* terbaik adalah 338° - 158°. Jenis konfigurasi *runway* adalah runway tunggal. Panjang *runway* sebesar 12.000 ft dan lebar sebesar 200 ft akan cukup untuk memungkinkan pendaratan dan lepas landas yang aman.

## 2.2 PENERBANGA N

Menurut Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2009 tentang Penerbangan, Penerbangan adalah satu kesatuan sistem yang terdiri atas pemanfaatan wilayah udara, pesawat udara, bandar udara, angkutan udara, navigasi penerbangan, keselamatan dan keamanan, lingkungan hidup, serta fasilitas penunjang dan fasilitas umum lainnya.

## 2.3 BANDAR UDARA

Bandar Udara adalah Wilayah tertentu di darat atau air (termasuk bangunan, instalasi dan peralatan) yang dimaksudkan untuk digunakan, baik seluruhnya atau sebagian, untuk kedatangan, keberangkatan dan pergerakan darat pesawat (ICAO *Annex 14 Volume I*, 2013).

Menurut Undang – Undang Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2009 tentang Penerbangan, Bandar Udara adalah kawasan di daratan dan/atau perairan dengan batas – batas tertentu yang digunakan sebagai tempat pesawat udara mendarat dan lepas landas, naik turun penumpang, bongkar muat barang dan tempat perpindahan intra dan antarmoda transportasi, yang dilengkapi dengan fasilitas keselamatan dan keamanan penerbangan, serta fasilitas pokok dan fasilitas penunjang lainnya.

Sedangkan pengertian Bandar Udara menurut PT. (Persero) Angkasa Pura I adalah lapangan udara, termasuk segala bentuk bangunan dan peralatan yang merupakan kelengkapan minimal untuk menjamin tersedianya fasilitas bagi angkutan udara masyarakat.

### **2.3.1 Fasilitas Bandar Udara**

Pengguna pada suatu fasilitas bandara akan dilayani berdasarkan komponen yang berbeda di bandar udara. Komponen bandar udara secara umum terbagi menjadi dua kategori yaitu (Sartono, dkk, 2016) :

1. Komponen sisi udara/*airside* bandar udara dirancang dan dikelola untuk mengakomodasi pergerakan pesawat disekitar bandar udara, maupun saat menuju dan kembali dari udara/angkasa.
2. Komponen sisi darat/*landside* bandar udara dirancang dan dikelola untuk mengakomodasi pergerakan *ground-based vehicles* (kendaraan di darat), penumpang dan kargo.

#### **2.3.1.1 Fasilitas Sisi Udara**

Sisi udara suatu bandar udara adalah bagian dari bandar udara dan segala fasilitas penunjangnya yang bukan merupakan daerah publik. Setiap orang, barang dan kendaraan yang akan memasukinya wajib melalui pemeriksaan keamanan dan/atau memiliki izin. Fasilitas – fasilitas yang ada pada sisi udara meliputi (Sartono, dkk, 2016) :

1. *Runway*

*Runway* adalah area persegi di permukaan bandara (*aerodrome*) yang disiapkan untuk *take off* dan *landing* pesawat.

Dalam merancang *runway*, diatur ketat mengenai panjang, lebar, orientasi (arah), konfigurasi, kemiringan/kelandaian dan ketebalan perkerasan *runway*.

Daerah bandar udara di sekitar *runway* juga diatur untuk memastikan bahwa tidak ada penghalang bahaya yang dapat mencegah operasi pesawat secara aman.

*Runway* difasilitasi oleh marka (*marking*), sistem pencahayaan (*lighting*), dan rambu – rambu (*signs*) untuk mengidentifikasi *runway* dan memberikan panduan arah kepada pilot saat pesawat berjalan (*taxiing*), lepas landas (*take off*), anjang – anjang pendaratan (*approach*) dan mendarat/*landing*.

Fasilitas *runway* mempunyai beberapa bagian yang masing – masingnya mempunyai persyaratan tersendiri (Kementrian Perhubungan, 2005) :

- a. *Runway shoulder*/bahu landas pacu adalah area pembatas pada akhir tepi perkerasan *runway* yang dipersiapkan menahan erosi *jet blast* (hembusan jet) dan sebagai jalur *ground vehicle* (kendaraan darat) untuk pemeliharaan dan keadaan darurat serta untuk penyediaan daerah peralihan antara bagian perkerasan dan *runway strip*.
- b. RESA (*Runway End Safety Area*) adalah suatu daerah simetris yang merupakan perpanjangan dari garis tengah *runway* dan membatasi bagian ujung *runway strip* yang ditujukan untuk mengurangi risiko kerusakan pesawat yang sedang menjauhi atau mendekati *runway* saat melakukan *take off* (lepas landas) maupun *landing* (pendaratan).
- c. *Clearaway* adalah suatu daerah tertentu di ujung *runway* tinggal landas yang terdapat di permukaan tanah maupun permukaan air dibawah pantauan operator bandar udara, yang dipilih dan ditujukan sebagai daerah yang aman bagi pesawat saat mencapai ketinggian tertentu. *Clearway* juga merupakan daerah bebas terbuka yang disediakan untuk melindungi pesawat saat melakukan manuver pendaratan maupun lepas landas.
- d. *Stopway* adalah suatu area tertentu yang terbentuk segi empat yang ada di permukaan tanah terletak di akhir *runway* bagian *landing* (tinggal landas) yang dipersiapkan sebagai tempat berhenti pesawat saat terjadi pembatalan kegiatan tinggal landas.
- e. *Turning area* adalah bagian *runway* yang digunakan untuk pesawat melakukan gerakan memutar, baik untuk membalik arah pesawat maupun gerakan pesawat saat akan parkir di *apron*.
- f. *Runway strip* adalah luasan bidang tanah yang diratakan dan dibersihkan tanpa benda – benda yang mengganggu yang dimensinya bergantung pada panjang *runway* dan jenis instrumen pendaratan (*precision aproach*) yang dilayani.

- g.  *Holding bay*  adalah area tertentu yang ditujukan agar pesawat dapat melakukan penantian atau menyalip untuk mendapatkan efisiensi gerakan permukaan pesawat

## 2. *Taxiway* (Penghubung Landas Pacu)

*Taxiway*  adalah jalur yang dirancang di permukaan bandara ( *aerodrome* ) yang dibuat sebagai jalur pesawat (berjalan pelan – pelan) dan juga ditujukan untuk menyediakan jalur penghubung antara satu bagian bandara dengan yang lainnya, yang termasuk dalam  *taxiway*  adalah sebagai berikut :

- a.  *Aircraft stand taxiway*  adalah bagian dari  *apron*  yang ditujukan sebagai  *taxiway*  dan bertujuan untuk menyediakan akses menuju tempat parkir pesawat ( *aircraft stand* ) saja.
- b.  *Apron taxiway*  adalah bagian dari sistem  *taxiway*  yang berada di  *apron*  dan bertujuan untuk menyediakan rute pesawat berjalan menyeberang  *apron* .
- c.  *Rapid exit taxiway*  adalah sebuah  *taxiway*  yang terhubung ke  *runway*  dengan sudut tajam dan dirancang untuk menyediakan akses keluar bagi pesawat yang mendarat ( *landing* ) dengan kecepatan yang lebih tinggi dibandingkan ketika pesawat berjalan keluar di  *exit taxiway*  lainnya. Hal ini bertujuan untuk meminimalkan  *runway occupancy time*  sehingga dapat meningkatkan kapasitas  *runway* .

## 3. *Apron* (Parkir Pesawat Udara)

*Apron*  adalah suatu daerah tertentu di permukaan bandara ( *aerodrome* ) yang bertujuan untuk mengakomodasi pesawat untuk menaik turunkan penumpang, barang, kargo, mengisi bahan bakar, parkir dan perawatan pesawat.

Fasilitas  *holding apron*  merupakan bagian dari  *apron*  yang letaknya dekat sekali dengan landasan yang digunakan untuk melakukan cek terakhir dan menunggu perintah untuk lepas landas, sedangkan  *holding bay*  adalah  *apron*  yang relatif kecil dari bandar udara yang dimanfaatkan untuk parkir pesawat sementara disebabkan kapasitas  *apron*  sudah terlampaui. Manfaat adanya  *holding bay*  adalah sebagai berikut :

- a. Mengurangi penundaan gerakan suatu pesawat yang ada dibelakang pesawat lain.
- b. Sebagai tempat memeriksa alat-alat/perlengkapan penerbangan sebelum terbang, bila tidak bisa dilaksanakan di  *apron* .

### 2.3.1.2 Fasilitas Sisi Darat

Sisi darat suatu bandara adalah wilayah bandar udara yang tidak langsung berhubungan dengan kegiatan operasi penerbangan (Kementerian Perhubungan, 2002). Bagian dari fasilitas sisi darat meliputi terminal penumpang, terminal barang (kargo), bangunan operasi dan fasilitas penunjang bandar udara. Berikut adalah fasilitas sisi darat bandar udara (Sartono, dkk, 2016) :

#### 1. Bangunan Terminal Penumpang

Fasilitas bangunan penumpang adalah bangunan yang disediakan untuk melayani seluruh kegiatan yang dilakukan oleh penumpang dari mulai keberangkatan hingga kedatangan. Bagian – bagian dari fasilitas bangunan penumpang antara lain sebagai berikut :

- a. Fasilitas keberangkatan : *check in counter*, *check in area*, rambu/marka terminal bandar udara, fasilitas *custom imigration quarantine/CIQ* (bandar udara internasional), ruang tunggu, tempat duduk dan fasilitas umum lainnya (toilet, telepon dan sebagainya).
- b. Fasilitas kedatangan : ruang kedatangan , *baggage conveyor belt*/fasilitas yang digunakan untuk melayani pengambilan bagasi penumpang, rambu/marka terminal bandar udara, fasilitas *custom imigration quarantine/CIQ* (bandar udara internasional), ruang tunggu, tempat duduk dan fasilitas umum lainnya (toilet, telepon dan sebagainya).

#### 2. Bangunan Terminal Barang

Fasilitas bangunan terminal barang (kargo) adalah bangunan terminal yang digunakan untuk kegiatan bongkar muat barang (kargo) udara yang dilayani oleh bandara tersebut. Luasnya dipengaruhi oleh berat dan volume kargo waktu sibuk yang dilayani oleh bandar udara tersebut. Fasilitas ini meliputi gudang, kantor administrasi, parkir pesawat, gedung operasi, jalan masuk dan tempat parkir kendaraan umum. Fasilitas – fasilitas tersebut merupakan fasilitas standar yang dalam penyediaan dan pengoperasiannya disesuaikan klasifikasi kemampuan bandar udara bersangkutan.

#### 3. Bangunan Operasi

Fasilitas bangunan operasi meliputi sebagai berikut :

- a. Gedung operasional, antara lain : PKP-PK, menara kontrol, stasiun meteorologi, gedung NDB, gedung VOR dan gedung DME.

- b. Bangunan teknik penunjang yang terdiri atas *power house* dan stasiun bahan bakar merupakan fasilitas yang terkait dengan jaminan kelangsungan operasional bandar udara dari aspek kelistrikan dan pergerakan pesawat.
- c. Bangunan administrasi dan umum terdiri atas kantor bandara, kantor keamanan dan rumah dinas bandara, serta bangunan kantin dan tempat ibadah.

#### 4. Fasilitas Penunjang Bandar Udara

Fasilitas penunjang bandar udara terdiri atas jalan akses dan tempat parkir kendaraan pengunjung. Fasilitas ini ditunjukkan untuk mendukung pelayanan terhadap para pengunjung, baik calon penumpang maupun pengunjung bukan penumpang. Fasilitas penunjang bandar udara juga termasuk jembatan, drainase, turap, pagar serta taman. Di berbagai bandar udara modern, fasilitas ini terdiri atas fasilitas intermoda, sebagai salah satu upaya integrasi bandar udara dengan sistem moda transportasi lainnya.

#### 5. *Air Traffic Control Tower*

*Air traffic control tower* (ATCT) merupakan fasilitas untuk mengawasi, mengarahkan dan memonitor lalu lintas udara (kedatangan dan keberangkatan) di bandara dan di daerah sekitarnya (*air space*) pada radius 5 mil dari bandar udara dan pada ketinggian 0 sampai 2.500 feet (0-762 m) diatas permukaan bandara. Selain itu, di ATCT, petugas ATC juga mengawasi pergerakan pesawat dan kendaraan darat di *airfield's movement area* (area sisi udara). Ukuran ATCT berkisar antara 1 sampai 4 *acre* (4.000-16.000  $m^2$ ), yang terdiri atas fasilitas gedung administrasi dan parkir kendaraan. Lokasi ATCT harus sesuai dengan persyaratan yang berlaku dan memiliki jarak pandang maksimum terhadap ruang angkasa, area *landing* pesawat dan seluruh area *runway* dan *taxiway*.

## 2.4 KARAKTERISTIK PESAWAT TERBANG

### 2.4.1 Standar Dimensi Pesawat

Dimensi pesawat terbang sangat mempengaruhi ukuran dari *runway*, *apron* dalam suatu bandar udara. Berikut adalah istilah yang terkait dengan dimensi pesawat terbang (Sartono, dkk, 2016) :

- a. *Lenght* (Panjang) sebuah pesawat terbang didefinisikan sebagai jarak dari ujung depan badan pesawat (*fuselage*) atau badan utama (*main body*) pesawat, sampai ke ujung belakang ekor pesawat, yang dikenal sebagai *empennage*. Panjang

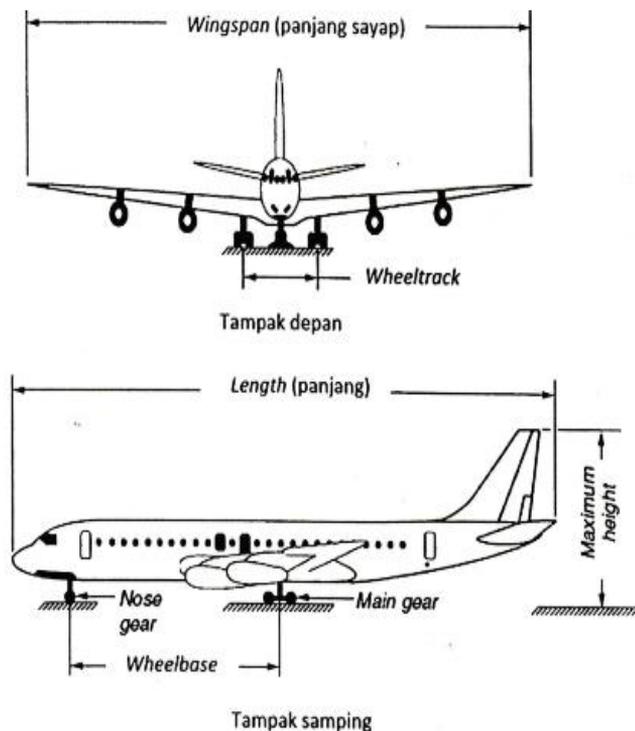
pesawat digunakan untuk menentukan panjang dari area parkir (*parking area*) pesawat, hanggar.

b. *Wingspan* (panjang sayap) sebuah pesawat terbang didefinisikan sebagai jarak dari ujung sayap ke ujung sayap lainnya pada sayap utama pesawat. *Wingspan* digunakan untuk menentukan lebar dari *parking area* (area parkir) pesawat dan jarak antara *gates*. Selain itu, untuk menentukan lebar dan separasi (jarak pemisah) *runway* dan *taxiway* di bandar udara.

c. *Maximum height* (tinggi maksimum) sebuah pesawat terbang secara tipikal didefinisikan sebagai jarak dari lantai dasar (*ground*) sampai puncak bagian ekor (*tail*) pesawat.

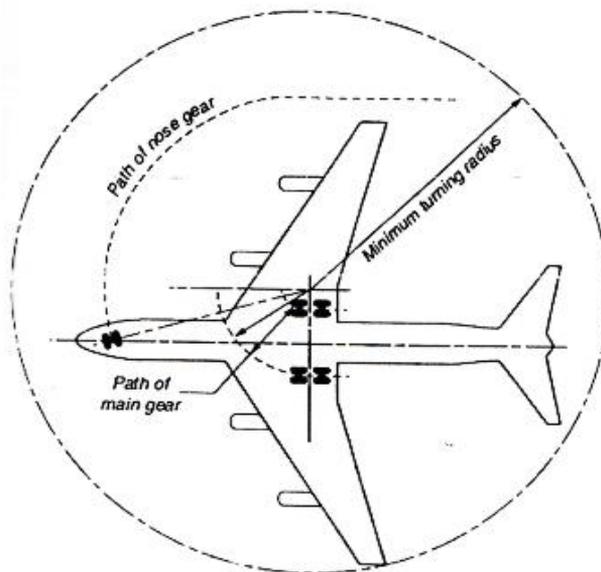
d. *Wheelbase* sebuah pesawat terbang didefinisikan sebagai jarak antara as roda pendaratan utama (*main landing gear*) pesawat dengan as roda depan (*nose gear*), atau roda ekor (*tail-wheel*), pada kasus pesawat *tail-wheel*.

e. *Wheel track* sebuah pesawat terbang didefinisikan sebagai jarak antar as roda terluar (*outer wheels*) dari *main landing gear* pesawat.



**Gambar 2.1** Dimensi Pesawat Terbang (Horonjeff, dkk, 2014)

f. *Turning radii* adalah fungsi dari sudut kemudi roda depan (*nose gear steering angle*). Semakin besar sudutnya semakin kecil radiusnya.



**Gambar 2.2** *Turning radius* (Horonjeff, dkk, 2014)

#### 2.4.2 Kinerja Pesawat Terhadap Panjang Runway

Untuk menghitung panjang *runway*, maka digunakan peraturan yang dikenal sebagai *Federal Aviation Regulation* (FAR) yang disusun oleh pemerintah Amerika Serikat dengan industri pesawat terbang. FAR tersebut yaitu sebagai berikut (Sartono, dkk, 2016) :

- a. *Normal take off cases* (lepas landas dengan normal) adalah ketika mesin berjalan dengan normal dan landas pacu yang ada cukup panjangnya untuk mengakomodasi variasi teknik pengangkatan pesawat dan berbagai khusus dari perfoma pesawat.
- b. *Engine failure cases* (lepas landas dengan anggapan mesin gagal) adalah kondisi ketika landas pacu yang ada memiliki panjang yang cukup agar pesawat dapat melanjutkan perjalanan walaupun kehilangan tenaga, agar pesawat dapat direm untuk berhenti darurat.
- c. *Landing cases* (pendaratan) adalah ketika landas pacu yang ada memiliki panjang yang cukup berbagai teknik pendaratan, pendaratan yang buruk dan semacamnya.

### 2.4.3 Komponen Berat Pesawat Terbang

Menurut Sartono, dkk tahun 2016, terdapat beberapa komponen dari berat suatu pesawat terbang yang paling menentukan dalam menghitung *runway*, yaitu :

- a. *Operating weight empty* adalah berat dasar pesawat terbang, termasuk di dalamnya awak pesawat dan peralatan pesawat terbang, tetapi tidak termasuk bahan bakar dan penumpang atau barang yang membayar.
- b. *Payload* adalah produksi muatan (barang atau penumpang) yang membayar, diperhitungkan menghasilkan pendapatan bagi perusahaan. *Maksimum payload* adalah muatan maksimum yang diizinkan untuk diangkut oleh tipe pesawat tertentu. Pada dasarnya apabila *payload* bertambah, jarak tempuhnya berkurang atau sebaliknya *payload* berkurang, jarak tembu bertambah.
- c. *Zero fuel weight*, ZEW (berat bahan bakar kosong) adalah berat maksimum yang terdiri atas berat operasi kosong, beban penumpang dan barang.
- d. *Maximum taxi weight*, MTW (berat taksi maksimum) adalah beban maksimum untuk melakukan gerakan atau berjalan dari parkir pesawat ke pangkal *runway*. Selama melakukan gerakan ini maka akan terjadi pembakaran bahan bakar sehingga pesawat akan kehilangan berat.
- e. *Maximum take off weight*, MTOW (berat maksimum lepas landas) adalah beban maksimum pada awal lepas landas sesuai dengan bobot pesawat dan persyaratan kelayakan penerbangan.
- f. *Maksimum landing weight*, MLW (berat maksimum lepas landas) adalah beban maksimum pada saat roda pesawat menyentuh lapis keras (mendarat) sesuai dengan bobot pesawat dan persyaratan kelayakan penerbangan.

Informasi mengenai komponen berat pada suatu pesawat terbang biasanya disediakan oleh pabrik pembuat pesawat tersebut dalam *aircraft characteristic manual* (manual karakteristik pesawat) untuk kepentingan perancangan bandar udara. Kekuatan perkerasan (*pavement strenght*) suatu bandar udara dirancang berdasarkan MTOW, dengan *landing gear* dan konfigurasi beban dari pesawat kritikal yang akan digunakan.

### 2.4.4 Kapasitas *Runway*

Kapasitas tahunan dari konfigurasi bandara dengan *runway* tunggal dapat mencapai 195.000 operasi dengan *taxiway*, *apron* dan fasilitas *air traffic control* yang baik. Besarnya kapasitas *runway* bervariasi tergantung pada campuran

pesawat, persen kedatangan, visibilitas, dan lain sebagainya untuk masing – masing konfigurasi (Sartono, dkk, 2016).

**Tabel 2.1** Capacity and Annual Service Volume For Long Range

Configuration	Runway configuration diagram	Mix index— percent (C + 3D)	Hourly capacity (operations per hour)		Annual service volume (operation per year)
			VFR	IFR	
<i>A</i> Single Runway		0–20	98	59	230,000
		21–50	74	57	195,000
		51–80	63	56	205,000
		81–120	55	53	210,000
		121–180	51	50	240,000
<i>B</i> Dual Lane Runways		0–20	197	59	355,000
		21–50	145	57	275,000
		51–80	121	56	260,000
		81–120	105	59	285,000
		121–180	94	60	340,000
<i>C</i> Independent IFR Parallels		0–20	197	119	370,000
		21–50	149	114	320,000
		51–80	126	111	305,000
		81–120	111	105	315,000
		121–180	103	99	370,000
<i>D</i> Parallels plus Crosswind Runway		0–20	197	62	355,000
		21–50	149	63	285,000
		51–80	126	65	275,000
		81–120	111	70	300,000
		121–180	103	75	365,000
<i>E</i> Four Parallels		0–20	394	119	715,000
		21–50	290	114	550,000
		51–80	242	111	515,000
		81–120	210	117	565,000
		121–180	189	120	675,000
<i>F</i> Open V Runways		0–20	150	59	270,000
		21–50	108	57	225,000
		51–80	85	56	220,000
		81–120	77	59	225,000
		121–180	73	60	265,000
<i>G</i> Parallels plus Crosswind Runway		0–20	295	59	385,000
		21–50	210	57	305,000
		51–80	164	56	275,000
		81–120	146	59	300,000
		121–180	129	60	355,000

Sumber : (Ashford, N.J., dkk, 2011)

## 2.5 PERANCANGAN UMUM GEOMETRIK PRASARANA BANDARA

Untuk kegiatan perancangan, bandar udara diklasifikasikan berdasarkan pesawat yang dapat dilayani. Bandar udara dirancang berdasarkan pesawat kritis (*critical aircraft*) atau pesawat rencana. FAA mendefinisikan pesawat kritis, yaitu pesawat yang setidaknya beroperasi (*landing* atau *take off*) sebanyak 500 kali atau lebih di bandar udara selama satu tahun (Sartono, dkk, 2016).

### 2.5.1 Geometrik *Runway*

Elemen-elemen yang diisyaratkan untuk perancangan *runway*, termasuk (Sartono, dkk, 2016) :

- a. Panjang aktual *runway*,
- b. Lebar *runway*,
- c. *Effective gradient* (kelandaian efektif),
- d. *Longitudinal slope*,
- e. *Rate of change of longitudinal slope* (besarnya perubahan kelandaian memanjang),
- f. *Transverse slope* (kelandaian melintang),
- g. *Sight distance* (jarak pandang),
- h. *Width and length of landing strip* (lebar dan panjang *landing strip*)
- i. *Separation distance* (jarak pemisahan) antar-*runway* sejajar.

#### 2.5.1.1 Panjang aktual *runway*

Penentuan suatu panjang *runway* rencana merupakan salah satu hal yang harus diperhatikan untuk seorang perencana bandar udara. Panjang *runway* menentukan ukuran dan biaya, serta berpengaruh pada pesawat yang akan dilayani suatu bandar udara tersebut. Panjang *runway* juga menentukan batasan *payload* yang dapat dibawa oleh pesawat rencana. Suatu *runway* harus cukup panjangnya sehingga pesawat dapat *take off* dan *landing* secara aman dengan ketersediaan alat – alat bantu yang ada untuk dimasa ini dan yang akan datang (Sartono, dkk, 2016).

Faktor – faktor yang mempengaruhi panjang *runway* yang dibutuhkan sebagai berikut :

- a. karakteristik performa pesawat,
- b. berat kotor pesawat saat *landing* dan *take off*,
- c. elevasi bandar udara,
- d. rata-rata temperatur udara maksimum di bandar udara,

e. kemiringan *runway*.

Faktor-faktor yang menyebabkan variasi panjang *runway* yang dibutuhkan adalah kelembaban, angin dan kondisi dari permukaan *runway*. Perhitungan panjang *runway* dikembangkan oleh ICAO dan FAA sebagai berikut :

#### 1. Perhitungan panjang *runway* menurut ICAO

Apabila tidak tersedia manual karakteristik performa pesawat rencana, maka panjang *runway* dihitung dengan perhitungan ICAO. Panjang *runway* didapatkan dengan memperhitungkan faktor koreksi umum, yaitu sebagai berikut :

a. Panjang *runway* dasar (*basic runway length*) ditentukan berdasarkan asumsi kondisi di suatu bandar udara, yaitu sebagai berikut :

- Ketinggian bandar udara berada pada ketinggian muka air laut,
- Temperatur di bandar udara adalah temperatur standar 15°C (59°F),
- *Runway* rata/tidak memiliki kemiringan ke arah longitudinal,
- Tidak ada angin yang berhembus di *runway*,
- Pesawat berkapasitas muatan penuh,
- Tidak ada angin yang berhembus ke tempat tujuan,
- Temperatur penjelajahan pesawat adalah temperatur standar.

b. Panjang *runway* yang diisyaratkan dapat ditentukan dengan menggunakan panjang *runway* dasar (*basic runway length*) dan mengalikan dengan angka koreksi untuk setiap perubahan elevasi, temperatur dan *runway gradient* (kelandaian *runway*) di lokasi *runway* dibangun.

- Koreksi untuk elevasi

Apabila elevasi *runway* meningkat, maka kerapatan udara menurun. Hal ini menyebabkan berkurangnya gaya angkat pada sayap pesawat dan pesawat membutuhkan kecepatan di permukaan (*ground speed*) yang lebih besar sebelum dapat naik ke udara. Untuk memfasilitasi peningkatan elevasi tersebut, maka dibuat koreksi elevasi dengan kenaikan 7 persen setiap 300 m (1.000 ft) di atas muka laut.

$$F_e = 1 + 0,07 \times \frac{h}{300} \quad (2.1)$$

dengan :

$F_e$  = koreksi untuk elevasi

$h$  = elevasi bandar udara (m)

- Koreksi untuk temperatur

Kenaikan temperatur *airport references* (referensi bandar udara) menyebabkan pengaruh yang sama dalam kenaikan elevasi. Koreksi akibat temperatur adalah kenaikan 1 persen setiap 1°C temperatur referensi bandar udara melebihi temperatur atmosfer (15°C) untuk suatu elevasi/ketinggian. Setiap 1.000 m kenaikan elevasi bandar udara di atas muka air laut, temperatur berkurang 5,5°C sehingga rumusan untuk koreksi untuk temperatur adalah :

$$F_t = 1 + 0,01 \times [T_t - (15 - 0,0065 \times h)] \quad (2.2)$$

dengan :

$F_t$  = koreksi untuk temperatur

$T_t$  = temperatur bandara/aerodrome (°C)

$h$  = elevasi bandar udara (m)

*Airport reference temperature* adalah rata-rata temperatur perbulan dari rata-rata temperatur harian, dari bulan yang paling panas dalam suatu tahun, ditambah 1 per 3 dari selisih antara rata-rata temperatur harian dan rata-rata dari temperatur maksimum harian sehingga *Airport reference temperature* adalah :

$$T_t = T_a + \frac{1}{3} (T_m - T_a) \quad (2.3)$$

dengan :

$T_t$  = *airport reference temperature* (°C)

$T_a$  = rata-rata temperatur harian (°C)

$T_m$  = temperatur maksimum harian (°C)

- Koreksi untuk kelandaian (*gradient*)

Kelandaian efektif (*effective gradient*) adalah perbedaan elevasi maksimum antara titik tertinggi dan terendah di garis tengah *runway* dibagi dengan panjang total *runway*. *Runway* harus dikoreksi 10 persen untuk setiap kelandaian sebesar 1 persen dari *effective gradient*. Rumus koreksi untuk kelandaian (*gradient*) adalah :

$$F_g = 1 + 0,1 \times G \quad (2.4)$$

dengan :

$F_g$  = koreksi untuk kelandaian (*gradient*)

$G$  = *gradient* efektif *runway* (%)

Untuk panjang *runway* rancangan atau panjang *runway* aktual dapat ditentukan dengan rumus :

$$L_a = L_b \times F_e \times F_t \times F_g \quad (2.5)$$

dengan :

$L_a$  = panjang aktual *runway* (m)

$L_b$  = panjang *basic runway* (m)

$F_e$  = koreksi untuk elevasi

$F_t$  = koreksi untuk temperatur

$F_g$  = koreksi untuk *gradient* (kelandaian)

## 2. Perhitungan panjang *runway* menurut FAA

Pabrik pesawat dan FAA telah mengembangkan dan memublikasikan kurva perfoma sebagai pesawat, sebagai alat untuk merancang panjang *runway*. Kurva ini didapatkan berdasarkan uji terbang secara aktual dan data – data operasional, sehingga dihasilkan panjang *runway* untuk *landing* dan *take off* secara akurat untuk hampir seluruh jenis pesawat sipil baik pesawat besar maupun kecil. Kurva ini bervariasi dalam format dan kompleksitasnya.

Kurva perfoma pesawat untuk *take off* dibuat berdasarkan kelandaian efektif *runway* (*effective runway gradient*) 0%. *effective runway gradient* adalah selisih maksimum dari elevasi garis tengah *runway* dibagi dengan panjang *runway*. FAA mengatur bahwa panjang *runway* untuk *take off* meningkat seiring dengan kenaikan 1% *effective runway gradient* dengan kenaikan sebesar :

- a. Untuk pesawat piston dan turboprop 20%,
- b. Untuk pesawat turbojet 10%.

Untuk kasus pendaratan pesawat turbojet pada *runway* yang basah atau licin, disarankan untuk menambah panjang *runway* dari 5 sampai 9,5%, bergantung pada tipe pesawat. Untuk pesawat turboprop atau piston tidak ada koreksi yang disarankan.

### 2.5.1.2 Lebar *runway*

Lebar dari *runway* menurut ICAO tahun 2013, tidak boleh kurang dari dimensi yang ditentukan sebagai berikut.

**Tabel 2.2** Lebar *runway* menurut ICAO.

<i>Code Number</i>	<i>Code Letter</i>					
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>
1 <sup>a</sup>	18 m	18 m	23m	-	-	-
2 <sup>a</sup>	23 m	23 m	30 m	-	-	-
3	30 m	30 m	30 m	45 m	-	-
4	-	-	45m	45 m	45 m	60 m

Sumber : (Sartono, dkk, 2016)

Keterangan :

<sup>a</sup> Lebar *runway* dengan *precision approach* tidak boleh kurang dari 30 m untuk *code number* 1 dan 2.

### 2.5.2 Geometrik *Taxiway*

*Taxiway* dirancang dan disediakan untuk memungkinkan gerakan pesawat di permukaan dengan aman dan cepat (Sartono, dkk, 2016) :

- a. *Minimum wheel clearance* (jarak bersih roda minimum),
- b. Lebar *taxiway*,
- c. *Longitudinal slope and changes* (kelandaian memenang dan perubahannya),
- d. *Sight distance* (jarak pandang),
- e. *Transverse slopes* (kelandaian melintang),
- f. *Taxiway shoulder* (bahu penghubung landas pacu),
- g. *Taxiway strip*,
- h. *Rapit exit taxiway*,
- i. Persilangan dan kurva *taxiway*,
- j. *Taxiway minimum separation distances* (jarak pemisah *taxiway* minimum),
- k. *Holding bay* dan *taxi-holding position*.

#### 2.5.2.1 *Minimum wheel clearance* (jarak bersih roda minimum)

Menurut Sartono, dkk tahun 2013, *taxiway* didesain harus sedemikian rupa sehingga kokpit pesawat ketika berada di *taxiway*, tetap berada di marka garis tengah *taxiway*. *Clearance distance* (jarak bersih) antara bagian terluar dari roda

utama dan tepi *taxiway* harus tidak kurang dari angka yang diberikan menurut ICAO berikut.

**Tabel 2.3** *Minimum wheel clearance.*

<i>Item</i>	<i>ICAO Aerodrome Reference Code Letter</i>					
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C*)</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>
<i>D<sub>min</sub></i>	1,5 m	2,25 m	3 m/4,5 m	4,5 m	4,5 m	4,5 m

Sumber : (Sartono, dkk, 2016)

Keterangan :

\*) 3 m, bila *taxiway* ditunjukkan untuk digunakan oleh pesawat terbang dengan *wheel base* < 18 m dan 4,5 m bila *taxiway* ditunjukkan untuk digunakan oleh pesawat terbang dengan *wheel base* ≥ 18 m.

### 2.5.2.2 Lebar *Taxiway*

Lebar dari *taxiway* menurut ICAO tahun 2013, tidak boleh kurang dari dimensi yang ditentukan sebagai berikut.

**Tabel 2.4** Lebar *taxiway*.

<i>Item</i>	<i>ICAO Aerodrome Reference Code Letter</i>					
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>
<i>X</i>	7,5 m	10,5 m	18 m <sup>a</sup> 15 m <sup>b</sup>	23 m <sup>c</sup> 18 m <sup>d</sup>	23 m	25 m

Sumber : (Sartono, dkk, 2016)

Keterangan :

- Taxiway* ditunjukkan untuk digunakan oleh pesawat terbang dengan *wheel base* ≥ 18 m,
- Taxiway* ditunjukkan untuk digunakan oleh pesawat terbang dengan *wheel base* < 18 m,
- Taxiway* ditunjukkan untuk digunakan oleh pesawat terbang dengan *outer main gear whell span* ≥ 9 m,
- Taxiway* ditunjukkan untuk digunakan oleh pesawat terbang dengan *outer main gear whell span* < 9 m.

### 2.5.3 Geometrik Apron

Faktor – faktor yang harus dipertimbangkan dalam merancang *apron* di suatu bandar udara (Sartono, dkk, 2006) :

- a. *Surface gradient* (kemiringan permukaan),
- b. *Size of gates position* (ukuran dari posisi pintu masuk),
- c. *Number of gates positions* (jumlah pintu masuk),
- d. *Aircraft parking system* (sistem parkir pesawat),
- e. *Passenger handling concept* (konsep penanganan penumpang).

Faktor yang berhubungan dengan desain geometrik adalah parameter *surface gradient* (kemiringan permukaan), sedangkan empat faktor lain berhubungan dengan pengukuran *apron* dan desain area terminal.

#### 2.5.3.1 Dimensi Apron

Tempat parkir pesawat (*aircraft stand*) dirancang dengan peraturan ICAO dan FAA. Untuk ukuran *parking stand* harus dapat melayani arus lalu lintas maksimum yang diperlukan, sehingga diperlukan dimensi *apron* dalam merencanakan pengembangan *apron* (Sartono, dkk, 2016).

**Tabel 2.5** Jarak bebas minimum di *apron* menurut ICAO

<i>Aerodrome Code Letter (ICAO)</i>	<i>Minimum Clearance</i>		
	<i>Between Aircraft and Fixed or Movable Objects</i>	<i>Aircraft Stand Taxilane Centre Line to Object,</i>	<i>Apron Taxiway Centre Line to Object,</i>
A	3,0 m	12,0 m	16,25 m
B	3,0 m	16,5 m	21,5 m
C	4,5 m	24,5 m	26,0 m
D	7,5 m	36,0 m	40,5 m
E	7,5 m	42,5 m	47,6 m
F	7,5 m	50,5 m	57,5 m

Sumber : (Sartono, dkk, 2016)

**Tabel 2.6** Jarak bebas minimum di *apron* menurut FAA

<b>Code Letter/Kode Huruf (FAA)</b>	<b>Nose to Building Clearance/Jarak Bersih Hidung Pesawat ke Gedung</b>		<b>Between Aircraft and Fixed or Movable Objects/Jarak antara Pesawat dan Objek Tetap atau Bergerak</b>
A	30 ft	9,0 m	15 ft
B	20 ft	6,0 m	25 ft
C	20 ft	6,0 m	25 ft
D	15 ft	4,5 m	25 ft
E	15 ft	4,5 m	25 ft

Sumber : (Sartono, dkk, 2016)

Keterangan :

1. *Minimum clearance between aircraft or movable objects* adalah jarak bersih minimum yang diisyaratkan antara dua pesawat yang berada di *parking stand*.
2. *Minimum clearance aircraft stand taxilane centre line to object* adalah jarak bersih antara garis tengah *aircraft stand taxilane* terhadap objek.
3. *Minimum clearance apron taxiway centre taxilane centre line to object* adalah jarak bersih antara garis tengah *apron taxiway* terhadap objek.
4. *Nose to building clearance* adalah jarak bersih antara hidung pesawat dengan gedung terminal atau objek lainnya.

## 2.6 TEBAL PERKERASAN RUNWAY

### 2.6.1 Perkerasan Runway

Perkerasan adalah struktur yang terdiri dari beberapa lapisan dengan kekerasan dan daya dukung yang berkelainan. Perkerasan adalah perkerasan yang dibuat dari campuran aspal dengan agregat, digelar di atas suatu permukaan material granular mutu tinggi, sedangkan perkerasan kaku atau rigid adalah perkerasan yang dibuat dari slab - slab beton (*portland cement concrete*) (FAA, 2009).

Tujuan struktur perkerasan adalah :

- a. Mengurangi tegangan atau tekanan yang terjadi akibat beban roda sehingga mencapai tingkat nilai yang dapat diterima oleh tanah untuk menyokong beban tersebut.

- b. Agar di atas struktur perkerasan itu dapat lalui setiap saat. Oleh karena itu lapisan permukaan perkerasan harus kedap air melindungi lapisan tanah dasar sehingga kadar air lapisan tanah dasar tidak mudah berubah.
- c. Mendistribusikan beban terpusat, sehingga tekanan yang terjadi pada lapisan tanah dasar menjadi lebih kecil. Oleh karena itu lapisan struktur perkerasan harus dibuat dengan sifat modulus kekakuan (modulus elastisitas) lapis di atas lebih besar daripada lapis di bawahnya.
- d. Menyediaan kekesatan agar aman. Oleh karena itu permukaan perkerasan harus kasar, sehingga mempunyai koefisien gesek yang besar antara roda dan permukaan perkerasan.
- e. menyediakan kerataan agar nyaman. Oleh karena itu permukaan harus rata, sehingga pengguna tidak terguncang pada saat lewat pada perkerasan.

Syarat dari suatu perkerasan jalan adalah :

- a. Cukup kuat dalam memikul beban dari kendaraan yang dilewati.
- b. Permukaan jalan atau lapis aus harus kuat terhadap gaya gesekan dan keausan dari roda-roda kendaraan serta kuat terhadap pengaruh air hujan.

Apabila kedua syarat tersebut tidak terpenuhi, jalan akan mengalami pergeseran dan penurunan. Ketidak kuat dalam memikul beban yang harus dipikul akan menyebabkan pergeseran pada pondasi jalan sehingga dapat menyebabkan jalan bergelombang. Ketidakkuatan lapis aus akan menyebabkan jalan berlubang-lubang dan akhirnya jika hujan lubang itu akan terisi air yang akan menyebabkan kerusakan yang lebih parah.

Berdasarkan bahan ikat perkerasan jalan dikelompokkan atas :

- a. Konstruksi Perkerasan lentur (*flexible pavement*) Konstruksi perkerasan lentur yaitu perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat. Lapisan - lapisan perkerasannya bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar. (Basuki, 2008) Lapisan-lapisan tersebut memiliki fungsi dan sifat - sifat yang berbeda - beda. Pada umumnya perkerasan lentur terdiri dari empat lapis konstruksi material jalan.

#### 1) Lapis Permukaan (Surface Course)

Menurut (Basuki, 2008), *surface course* terdiri dari campuran aspal dan agregat, mempunyai rentang ketebalan dari 5 cm, atau lebih. Fungsi utamanya adalah agar pesawat dikendarai diatas permukaan yang rata dan keselamatan penerbangan, untuk menumpu beban roda

pesawat dan menahan beban repetisi, serta membagi beban tadi kepada lapisan – lapisan dibawahnya.

Fungsi lainnya antara lain :

- Struktural, yaitu berperan mendukung dan menyebarkan beban kendaraan yang diterima oleh lapis keras,
- Non struktural, yaitu berupa lapisan kedap air untuk mencegah masuknya air kedalam lapis perkerasan yang ada dibawahnya dan menyediakan permukaan yang tetap rata agar kendaraan berjalan dengan lancar,
- Menyediakan permukaan jalan yang aman dan kesat (anti selip),
- Berfungsi sebagai lapisan aus, yaitu lapisan yang makin lama makin tipis karena langsung bersentuhan dengan roda-roda kendaraan lalu lintas.

- 2) Lapis Pondasi Atas (*Base Course*) Menurut (Basuki, 2008), base course bias dibuat dari material yang dipersiapkan (dicampur dengan semen atau aspal), bias juga dari bahan – bahan alam tanpa campuran. Seperti halnya *surface course* lapisan ini harus mampu menahan beban, serta pengaruh – pengaruhnya dan membagi atau meneruskan beban tadi kepada lapisan dibawahnya. *Subbase course* dibuat dari material yang diperbaiki dulu, bisa juga material alam, sering lapisan ini dibuat dengan menghamparkan pitrun (sirtu) dari tempat pengambilan (*Quarry*) lalu dipadatkan.

Fungsi dari *base course* adalah:

- Bagian perkerasan yang menahan gaya lintang dari beban roda dan menyebarkan beban kelapisan di bawahnya,
- Lapisan peresapan untuk lapisan pondasi bawah,
- Bantalan terhadap lapisan permukaan,
- Lapis pendukung bagi lapis permukaan,
- Pemikul beban horizontal dan vertikal.

- 3) Lapis Pondasi Bawah (*Subbase Course*) Menurut (Basuki, 2008), Lapis pondasi bawah adalah bagian perkerasan yang terletak antara lapis pondasi dan tanah dasar, yang berfungsi :

- Bagian dari konstruksi perkerasan untuk menyebarkan beban roda pada tanah dasar,
- Lapis pencegah masuknya tanah dasar ke lapis pondasi,
- Lapis pertama pada pembuatan perkerasan,
- Mengurangi tebal lapisan di atasnya yang lebih mahal,

- Melindungi lapis tanah dasar langsung setelah terkena udara.
- 4) Tanah Dasar (*Sub Grade*) Menurut (Basuki, 2008), Tanah dasar (*Subgrade*) adalah permukaan tanah asli, permukaan tanah galian atau permukaan tanah yang setelah dipadatkan dan merupakan permukaan tanah dasar untuk perletakan bagian-bagian perkerasan lainnya, Kekuatan dan keawetan konstruksi perkerasan jalan sangat tergantung pada sifat-sifat dan daya dukung tanah dasar yang di antaranya berfungsi :
- Pemberi daya dukung terhadap lapisan di atasnya,
  - Sebagai tempat perletakan pondasi jalan

Penggunaan lapisan aspal diperlukan agar lapisan dapat bersifat kedap air, di samping itu bahan aspal sendiri memberikan tegangan tarik, yang berarti mempertinggi daya dukung lapisan terhadap beban roda lalu lintas. Pemilihan bahan untuk lapisan permukaan perlu dipertimbangkan kegunaanya, umur rencana serta konstruksi agar tercapai manfaat yang sebesar – besarnya dari biaya yang dikeluarkan.

b. Konstruksi Perkerasan kaku (*rigid pavement* )

Konstruksi perkerasan kaku (*rigid pavement*), yaitu perkerasan yang menggunakan semen (portland cement) sebagai bahan pengikat. Disebut “kaku” karena pelat beton tidak terdefleksi akibat beban lalu lintas dan didesain untuk umur 40 tahun sebelum dilaksanakan rekonstruksi besar besaran. Beban lalu lintas sebagian besar dipikul oleh pelat beton dengan atau tanpa tulangan yang diletakkan diatas tanah dasar dengan atau tanpa lapis pondasi bawah. Lapisan-lapisan Perkerasan kaku memiliki fungsi dan sifat-sifat yang berbeda-beda. Pada umumnya perkerasan kaku terdiri dari tiga lapis konstruksi material jalan.

- 1) Lapis Permukaan (*Surface Course*) fungsinya sama seperti lapisan perkerasan lentur.
- 2) Lapis Pelat Beton (*Concrete slab*) mempunyai fungsi utama sebagai penahan dan penyebar beban roda kendaraan. Material utama *concrete slab* adalah beton dengan FS minimal 45 kg/cm<sup>2</sup>

pada umur 28 hari atau diatas K-375. (FS = *flexural strength*, tegangan lentur).

- 3) Lapis Pondasi Bawah (*Subbase Course*) juga sama seperti pada perkerasan lentur hanya material pembentuknya biasanya agregat atau sirtu. Karena material tersebut dapat mengalirkan air.

c. Konstruksi Perkerasan komposit

Konstruksi perkerasan komposit (*composit pavement*), yaitu perkerasan yang mengkombinasikan antara PC dan aspal sebagai bahan pengikatnya. Penyusunan lapisan komposit terdiri dari dua jenis. Perkerasan jenis pertama merupakan penggabungan secara berlapis antara perkerasan lentur (menggunakan aspal sebagai bahan pengikat) dan perkerasan kaku (menggunakan PC sebagai bahan pengikat).

d. Lapisan *Prime Coat*

Jenis asphalt untuk *Prime Coat* ini adalah *Asphalt Cement 60/70 + Kerosine 20%*, perihal bahan – bahan dilaksanakan dengan memakai *pressure distributor* yang memenuhi syarat. Pemakaian *asphalt* jenis lain hanya dibenarkan dengan ijin Kuasa Pengguna Anggaran / Direktur teknik Bandara. Dalam garis besarnya, jumlah bahan *asphalt* tergantung dari texture dari *base course*, dan banyaknya berkisar antara 2 kg/m<sup>2</sup> jika terlalu pekat dapat diijinkan menggunakan bahan pengencer secukupnya.

e. Lapisan *Tack Coat*

Jenis asphalt untuk *Tack Coat* ini adalah sedangkan bahan untuk *Tack Coating* adalah jenis RC-70 (*Rapid Curing*) yaitu aspal yang dicampur dengan pengencer bensin setting dan dilaksanakan dengan memakai *pressure distributor* yang mempunyai syarat. Dalam garis besarnya, jumlah bahan asphalt tergantung dari texture dari *base course*, dan banyaknya berkisar antara 1 kg/m<sup>2</sup>.

Pada perkerasan kaku biasanya dipilih untuk : Ujung landasan, pertemuan antara landasan pacu dan *taxiway*, apron dan daerah-daerah lain yang dipakai untuk parkir pesawat atau daerah-daerah yang mendapat pengaruh panas blast jet dan limpahan minyak ( Basuki, 1986 ).

### 2.6.2 CBR (*California Bearing Ratio*)

(*California Bearing Ratio*) adalah perbandingan antara tegangan penetrasi suatu lapisan/bahan tanah atau perkerasan terhadap tegangan penetrasi bahan standar dengan kedalaman dan kecepatan penetrasi yang sama (dinyatakan dalam persen) (RSNI3-1738, 2008).

Harga CBR adalah nilai yang menyatakan kualitas tanah dasar dibandingkan dengan bahan standar berupa batu pecah yang mempunyai nilai CBR sebesar 100% dalam memikul beban. Metoda ini awalnya diciptakan oleh O.J poter kemudian di kembangkan oleh *California State Highway Departement*, kemudian dikembangkan dan dimodifikasi oleh Corps insinyur-isinyur tentara Amerika Serikat (*U.S Army Corps of Engineers*).

Metode ini mengkombinasikan percobaan pembebanan penetrasi di Laboratorium atau di Lapangan dengan rencana Empiris untuk menentukan tebal lapisan perkerasan. Hal ini digunakan sebagai metode perencanaan perkerasan lentur (*flexible pavement*) suatu jalan. Tebal suatu bagian perkerasan ditentukan oleh nilai CBR (Irawan, 2010). Bila pengujian CBR Lapangan tidak dapat dilakukan di lapangan maka nilai CBR dapat diperoleh dengan pengujian CBR Laboratorium (Surfens, 2010).

- a. Metode Pengujian CBR Laboratorium Menurut SNI 03-1744-1989, CBR laboratorium ialah perbandingan antara beban penetrasi suatu bahan terhadap bahan standar dengan kedalaman dan kecepatan penetrasi yang sama. Nilai CBRlaboratorium biasanya digunakan untuk perencanaan pembangunan jalan baru. Peralatan yang digunakan antara lain, mesin penetrasi yang dilengkapi alat pengukur beban, cetakan logam yang dilengkapi leher sambung, alat penumbuk, alat pengukur pengembangan, keping beban, arloji pengukur penetrasi, dll. Prosedur pengujian meliputi tahapan pemadatan bahan di dalam cetakan dengan jumlah tumbukan tertentu, lalu buka leher sambung dan ratakan permukaannya. Letakkan keping beban di atas permukaan, kemudian atur torak penetrasi pada permukaan benda uji dan berikan pembebanan dengan teratur sampai kecepatan penetrasi mendekati

1,27 mm/menit. Catat beban maksimum dan penetrasinya. Selanjutnya gambarkan grafik beban terhadap penetrasi. Umumnya harga CBR diambil pada penetrasi 2,54 mm.

- b. Metode Pengujian CBR Lapangan Menurut SNI 03-1738-1989, CBR lapangan ialah perbandingan antara beban penetrasi suatu lapisan/bahan tanah atau perkerasan terhadap bahan standar dengan kedalaman dan kecepatan penetrasi yang sama. Nilai CBR lapangan pada umumnya digunakan untuk perencanaan lapis tambahan (overlay). Peralatan yang digunakan dalam pengujian ini antara lain : cetakan CBR, dongkrak mekanis yang dipasang dibawah truk atau portal besi yang diangker, alat penggali, waterpass dll. Pengujian CBR dapat dilakukan langsung di tempat dengan cara menempatkan truk di atas lubang pemeriksaan dan memasang dongkrak CBR mekanis dan alat-alat lainnya. Atur pembebanan sehingga kecepatan penetrasinya mendekati kecepatan tetap. Catat pembacaan beban.

Metode ini adalah berdasarkan atas investigasi kekuatan daya dukung tanah dasar. Investigasi ini meliputi 3 jenis utama kegagalan yang terjadi pada perkerasan, yaitu :

1. pergeseran lateral material pada lapisan pondasi akibat adanya penyerapan air oleh lapisan perkerasan,
2. penurunan yang terjadi pada lapisan di bawah perkerasan, dan
3. lendutan yang berlebihan pada perkerasan akibat adanya beban yang berkerja.

Metode ini bertujuan untuk mendesain suatu perkerasan yang kokoh yang dibuat dari bahan bahan material yang dipersiapkan. Sehingga untuk memprediksi karakter atau sifat material yang akan digunakan untuk perkerasan maka pada tahun 1929 diperkenalkan suatu test uji bahan yang disebut test uji CBR (*California Bearing Ratio*). Uji CBR dilakukan pada banyak jenis material yang dianggap representatif terhadap material yang akan digunakan untuk bahan pondasi.

### **2.6.3 Metode-Metode Perencanaan Perkerasan**

Dalam merencanakan perkerasan suatu landasan pacu, terdapat berbagai metode-metode yang digunakan untuk mendesain perkerasannya. Pola penyelesaiannya pun berbeda-beda pula, namun semuanya sama-sama bertujuan

untuk menghasilkan desain perkerasan yang aman dan terjamin. Beberapa pertimbangan dalam desain perkerasan landasan pacu meliputi :

- a. Prosedur pengujian bahan untuk subgrade dan komponen-komponen lainnya harus akurat dan teliti.
- b. Metode yang dipakai harus sudah dapat diterima umum dan sudah terbukti telah menghasilkan desain perkerasan yang memuaskan.
- c. Dapat dipakai untuk mengatasi persoalan-persoalan perkerasan landasan pacu dalam waktu yang relatif singkat.

Langkah – langkah untuk merencanakan tebal perkerasan :

1. Tanah Dasar

Sampel tanah dasar untuk pengujian CBR diuji dalam laboratorium untuk menentukan nilai CBR. Pengujian dilakukan dengan melakukan pemadatan dengan kadar air tertentu. Dalam penentuan nilai CBR, apabila pada tiap area yang dari sampel tanah didapat nilai CBR yang berbeda, maka perencanaan tebal perkerasan ditentukan berbeda-beda sesuai dengan nilai CBR dari tanah pada area tersebut.

2. Menentukan Pesawat Rencana

Pesawat rencana dapat ditentukan dengan melihat jenis pesawat yang beroperasi dan besar MSTOW (*Maksimum Structural Take Off Weight*) dan data jumlah keberangkatan tiap jenis pesawat yang berangkat tersebut. Lalu dipilih jenis pesawat yang menghasilkan tebal perkerasan yang paling besar. Pemilihan pesawat rencana ini pada dasarnya bukanlah berasumsi harus berbobot paling besar, tetapi jumlah keberangkatan yang paling banyak melalui landasan pacu yang direncanakan.

Pesawat rencana kemudian ditetapkan sebagai pesawat yang membutuhkan tebal perkerasan yang paling besar dan tidak perlu pesawat yang paling besar yang beroperasi di dalam bandara.

3. Menentukan Jenis Struktur Perkerasan *Runway*

Jenis Struktur Perkerasan *Runway* diperlukan untuk mengetahui perkerasan *runway* yang digunakan pada suatu Bandar Udara termasuk *flexible* atau *rigid pavement*.

4. Menentukan *Equivalent Aircraft Method*

$$\text{Log } R_1 = \text{Log } R_2 \times \left[ \frac{W_2}{W_1} \right]^{1/2} \quad (2.6)$$

Dimana :

R1 = *Equivalent Annual Depature*

R2 = Konversikan Tipe Roda pesawat yang akan dilayani ke Tipe Roda Pesawat Rencana

W1 = beban satu roda pada main gear dengan menganggap beban pada main gear 95% dari MTOW pesawat rencana

W2 = beban satu roda pada main gear dengan menganggap beban pada main gear 95% dari MTOW pesawat

**Tabel 2.7** *Conversion Factor to Convert from One Landing Gear Type to Another*

To Convert From	To	Multiply Depatures by
S	D	0,8
S	2D	0,51
S	3D	0,33
D	S	1,25
D	2D	0,64
D	3D	0,41
2D	S	1,95
2D	D	1,56
2D	3D	0,64
3D	S	3,05
3D	D	2,44
3D	2D	1,56
2D/2D2	D	1,56
2D/2D2	2D	1

Sumber : (FAA, 1995)

5. Mengeplotkan Nilai CBR, *Equivalent Annual Depature*, MTOW kedalam Grafik *flexible pavement* untuk mendapatkan tebal perkerasan rencana.

## 2.7 DRAINASE BANDAR UDARA

Drainase Bandar Udara Suatu sistem drainase yang memadai untuk pembuangan air pada permukaan dan di bawah permukaan adalah penting bagi keselamatan pesawat dan umur perkerasan. Drainase yang kurang memadai akan menimbulkan genangan air pada permukaan perkerasan. Drainase yang jelek juga dapat membahayakan pesawat yang mendarat atau lepas landas. Drainase yang jelek juga dapat mengakibatkan kerusakan pada perkerasan. Permukaan perkerasan yang rata dalam arah memanjang dan melintang sering menimbulkan kesulitan dalam merencanakan drainase di Bandar udara.

Fungsi sistem drainase Bandar udara adalah mengalirkan dan membuang air permukaan dan bawah tanah yang berasal dari tanah sekitar Bandar udara, membuang air permukaan yang berasal dari Bandar udara, membuang air bawah tanah yang berasal dari Bandar udara.

Sistem drainase bandara yang dirancang dengan baik adalah syarat utama untuk keselamatan operasional dan efisiensi serta daya tahan jalan. Beberapa prinsip dan prosedur desain drainase yang lebih penting, adalah sebagai berikut (Ashford, dkk, 2011) :

1. Perkiraan limpasan.
2. Desain sistem dasar untuk pengumpulan dan pembuangan limpasan.
3. Penyediaan drainase bawah permukaan yang memadai.

Menentukan pola rentang waktu-intensitas hujan rencana Penentuan jumlah curah hujan yang diperkirakan terjadi di Bandar udara adalah merupakan langkah awal perencanaan suatu sistem drainase. Besarnya curah hujan dinyatakan dalam inci per jam untuk berbagai rentang waktu (*duration*) curah hujan tertentu. Perkiraan mengenai frekuensi hujan juga merupakan faktor penting untuk dipertimbangkan. Kederasan hujan yang sangat lebat (*storm*) berhubungan dengan frekuensinya, hujan lebat yang terjadi satu kali dalam 100 tahun akan lebih deras dari pada yang terjadi satu kali dalam satu tahun.

Metode rasional direkomendasikan untuk perhitungan limpasan dari permukaan bandara, terutama untuk area drainase kurang dari 200 hektar. Metode dinyatakan dengan persamaan (Ashford, dkk, 2011) :

$$Q = C I A \quad (2.7)$$

dengan :

- Q = limpasan (cfs)  
 C = limpasan koefisien  
 I = intensitas curah hujan (dalam / jam untuk perkiraan waktu konsentrasi)  
 A = luas drainase (hektar); area dapat ditentukan dari survei lapangan, peta topografi, atau foto udara.

Dalam analisis frekuensi data hujan atau data debit guna memperoleh nilai hujan rencana atau debit rencana, dikenal beberapa distribusi probabilitas yang sering digunakan, yaitu : Gumbel, Normal, Log Normal dan Log Person Type III (Kamiana,2011).

Rumus Debit Maksimum metode Weduwen (Kamiana, 2011) :

$$Q_{max} = \alpha \times \beta \times I \times A \quad (2.8)$$

dengan :

- Q<sub>max</sub> = debit maksimum (m<sup>3</sup>/detik)  
 α = koefisien pengairan  
 β = koefisien reduksi  
 I = intensitas hujan (mm/jam)  
 A = luas daerah pengaliran (km<sup>2</sup>)

Menentukan Intensitas Curah Hujan (I) dengan rumus Mononobe (I Made Kamiana, 2011) :

$$I = \frac{R_{24}}{24} \times \left(\frac{24}{t_c}\right)^{\frac{2}{3}} \quad (2.9)$$

dengan :

- I = intensitas hujan (mm/jam)  
 R<sub>24</sub> = hujan harian (mm)  
 t<sub>c</sub> = waktu kosentrasi (jam)

Rumus Metode distribusi gumbel (I Made Kamiana, 2011) :

$$X_T = \bar{X} + S \times K \quad (2.10)$$

dengan :

- X<sub>T</sub> = hujan rencana atau debit dengan periode ulang T  
 $\bar{X}$  = nilai rata – rata dari data hujan

S = standar deviasi dari data hujan

n = jumlah data

$$K = \text{Faktor Frekuensi Gumbel} = K = \frac{(Y_T - Y_n)}{S_n} \quad (2.11)$$

$$Y_T = \text{reduce variate} = -\ln\{\ln[Tr/(Tr-1)]\} \quad (2.12)$$

$Y_n$  = *Reduced Mean*

$S_n$  = *Reduced Standard Deviation*

**Tabel 2.8** Nilai *Reduced Standard Deviation* ( $S_n$ ) dan *Reduced Mean* ( $Y_n$ )

n	$S_n$	$Y_n$	n	$S_n$	$Y_n$
10	0,9497	0,4952	60	1,1750	0,5521
15	1,0210	0,5128	70	1,1850	0,5548
20	1,0630	0,5236	80	1,1940	0,5567
25	1,0910	0,5390	90	1,2100	0,5586
30	1,1120	0,5362	100	1,2060	0,56
35	1,1280	0,5403	20	1,2360	0,5672
40	1,1410	0,5436	500	1,2590	0,5724
45	1,1520	0,5463	1000	1,2690	0,5745
50	1,1610	0,5485			

Sumber : (I Made Kamiana, 2011)

\*Deviasi Standar (S)

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (2.13)$$

\*Koefisien Skewness/kepengangan ( $C_s$ )

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)S^3} \quad (2.14)$$

\*Koefisien Kurtosis ( $C_k$ )

$$C_k = \frac{n^2 \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)S^4} \quad (2.15)$$

\*Koefisien Variasi ( $C_v$ )

$$C_v = \frac{S}{\bar{X}} \quad (2.16)$$

**Tabel 2.9** Koefisien Limpasan ( $C$ )

Type of surface	Factor C
For all watertight roof surfaces	0,75 - 0,95
For asphalt runway pavements	0,80 - 0,95
For concrete runway pavements	0,70 - 0,90
For gravel of macadam pavements	0,35 - 0,70
For impervious soils (heavy)	0,40 - 0,65
For impervious soils, with turf	0,30 - 0,55
For slightly pervious soils	0,15 - 0,40
For slightly pervious soils, with turf	0,10 - 0,30
For moderately perfious soils	0,05 - 0,20
For moderately perfious soils, with turf	0 - 0,10

Sumber : (Ashford, dkk, 2011)

Menentukan waktu pengaliran pada permukaan ( $t_o$ ) dengan rumus kerby (Suripin, 2004) :

$$t_o = 1,44 \times \left( nd \times \frac{l}{\sqrt{s}} \right)^{0,467}$$

dimana :

- l = jarak dari titik terjauh ke inlet (m)
- nd = koefisien setara koefisien hambatan
- s = kemiringan medan

**Tabel 2.10** Hubungan Kondisi Permukaan dengan Koefisien Hambatan (nd)

Kondisi Lapis Permukaan	nd
Lapisan semen dan aspal beton	0,013
Permukaan licin dan kedap air	0,020
Permukaan licin dan kotor	0,010
Tanah dengan rumput tipis dan gundul dengan permukaan sedikit kasar	0,20
Padang rumput dan rerumputan	0,40
Hutan gundul	0,60
Hutan rimbun dan hutan gundul rapat dengan hamparan rumput jarang samai rapat	0,80

Sumber : (BINA MARGA, No. 008/T/BNKT/1990 )

*“halaman ini sengaja dikosongkan.”*