

2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bandar Udara

Bandar udara adalah area di daratan dan/atau perairan dengan batas tertentu yang digunakan sebagai tempat pesawat untuk mendarat dan lepas landas. Dengan itu, bandar udara adalah tempat usaha bagi unit penyelenggara bandar udara atau badan usaha bandar udara, badan usaha angkutan udara, dan badan hukum indonesia atau perorangan melalui kerjasama dengan unit penyelenggara bandar udara. Selain itu, bandar udara juga berfungsi sebagai terminal bagi penumpang, barang, dan prasarana yang memperkuat visi nusantara dan kedaulatan negara, yang digambarkan dengan titik-titik lokasi bandar udara yang terhubung dengan jaringan dan rute yang menyatukan wilayah dan kedaulatan Negara Kesatuan Republik Indonesia.

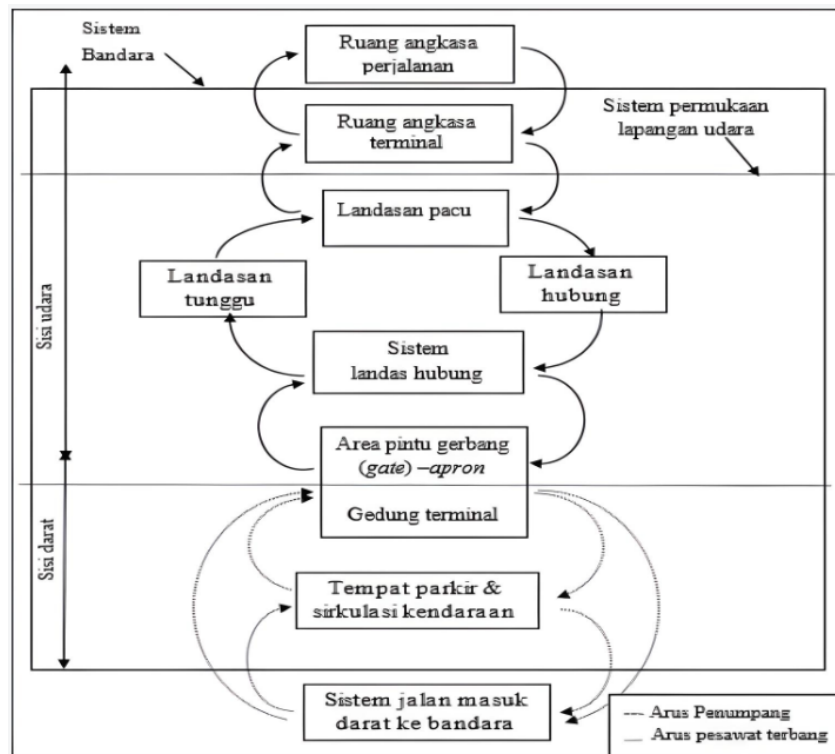
Menurut ICAO (*International Civil Aviation Organization*) dalam Annex 14 (1999), bandar udara merupakan area tertentu di daratan atau perairan (termasuk bangunan, instalasi, dan peralatan) yang diperuntukkan secara keseluruhan atau sebagian untuk kedatangan, keberangkatan, dan pergerakan pesawat. Sedangkan menurut PT (persero) Angkasa Pura, bandar udara adalah lapangan udara yang mencakup segala bangunan dan peralatan yang diperlukan untuk menjamin ketersediaan fasilitas angkutan udara bagi masyarakat.

Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 70 Tahun 2001 Tentang Kebandarudaraan Pasal 1, bandar udara adalah lapangan terbang yang digunakan untuk mendarat dan lepas landas pesawat, naik turun penumpang, bongkar muat kargo, pos, serta dilengkapi dengan fasilitas keselamatan penerbangan dan sebagai titik perpindahan antar moda transportasi. Bandar udara dapat dibedakan berdasarkan statusnya, yaitu bandar udara umum dan bandar udara khusus. Bandar udara juga dapat dibedakan berdasarkan fungsinya, yaitu sebagai pusat jaringan transportasi udara, pintu gerbang untuk aktivitas ekonomi nasional dan internasional, dan tempat alih moda transportasi.

2.2 Fasilitas Bandar Udara

Dalam menjalankan kegiatan pengoperasian bandar udara terdapat hal-hal yang harus diperhatikan dalam pengoperasian kegiatan kebandarudaraan. Hal yang

dimaksud ialah fasilitas. Fasilitas bandar udara terbagi menjadi dua bagian, yaitu fasilitas sisi udara (*airside*) dan fasilitas sisi darat (*landside*).



Gambar 2. 1 Sistem Bandar Udara

2.2.1 Fasilitas Sisi Udara (*Airside Facility*)

Sisi udara (*airside*) suatu bandara adalah bagian dari bandar udara dan segala fasilitas pendukungnya yang merupakan daerah bukan publik (*nonpublic area*). Adapun yang termasuk dalam fasilitas sisi udara antara lain:

a. Landasan Pacu (*Runway*)

Landasan pacu (*runway*) adalah jalur perkerasan yang dipergunakan oleh pesawat untuk mendarat (*landing*) dan lepas landas (*take off*).

b. Landasan Hubung (*Taxiway*)

Taxiway adalah jalur yang menghubungkan daerah terminal (*apron*) dengan landasan pacu. Fungsi utama dari *taxiway* ialah memberikan jalan masuk dari landasan pacu ke daerah terminal dan *hangar* pemeliharaan atau sebaliknya.

c. Landasan Parkir (*Apron*)

Apron adalah area terbuka pada suatu bandara yang diharapkan dapat memuat pesawat untuk menaikkan dan menurunkan penumpang, barang pos atau muatan, mengisi bahan bakar serta kegiatan dalam pemeliharaan pesawat.

2.2.2 Fasilitas Sisi Darat (*Landside Facility*)

Sisi darat (*landside*) suatu bandara adalah bagian dari bandar udara dan segala fasilitas pendukungnya yang merupakan sisi luar bangunan terminal, terbuka untuk umum (*public area*). Adapun yang termasuk dalam fasilitas sisi darat antara lain:

a. Terminal

Terminal adalah tempat untuk penumpang melakukan pengurusan perjalanan udara seperti pembelian tiket, pemeriksaan, hingga menunggu jadwal keberangkatan. Dalam terminal bandara terdapat fasilitas-fasilitas seperti ruang tunggu, restoran, toko pembelanjaan, serta fasilitas lainnya.

b. *Curb*

Curb adalah tempat penumpang naik turun dari kendaraan darat untuk menuju ke bangunan terminal. Tujuan *curb* atau trotoar adalah untuk memisahkan antara area pejalan kaki dengan area kendaraan.

c. Parkir Kendaraan

Parkir kendaraan diperuntukkan bagi penumpang atau pengantar dan penjemput penumpang untuk memarkirkan kendaraannya.

2.3 Landasan Pacu (*Runway*)

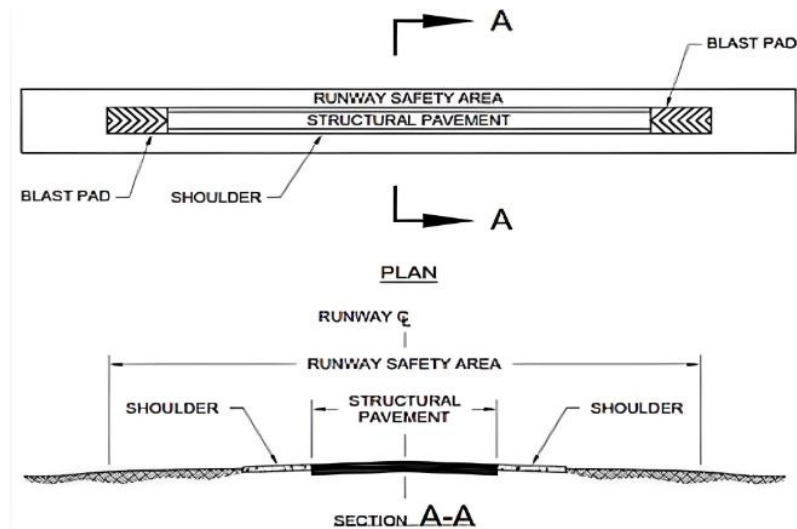
Runway, juga dikenal sebagai landasan pacu, adalah fasilitas bandara yang sangat penting. Tanpa landasan pacu yang direncanakan dan dikelola dengan baik, pesawat tidak akan dapat beroperasi di bandara yang dituju. Dalam merencanakan landasan pacu beberapa hal harus diperhatikan: panjang, lebar, orientasi (arah), konfigurasi, kemiringan atau kelandaian, dan ketebalan perkerasan. Landasan pacu difasilitasi oleh sistem marka (*marking*), sistem pencahayaan (*lighting*), dan rambu-rambu (*signs*). Semua ini digunakan untuk membantu pilot mengoperasikan pesawat saat akan berjalan, lepas landas, dan ancang-ancang pendaratan dan mendarat (Sartono et al., 2016).

Kelengkapan data, yang merupakan komponen penilaian, mencakup nama landasan pacu, nomor, dan azimuth, yang merupakan angka atau nomor yang menunjukkan penomoran landasan pacu dan arah kemiringannya. Data ini telah ada sejak awal perencanaan dan pembangunan bandar udara. Selanjutnya adalah dimensi landasan pacu yang mencakup panjang dan lebar. Pesawat kritis yang

dilayani, temperatur udara sekitar, ketinggian lokasi, kelembaban bandar udara, kemiringan landasan pacu dan karakteristik permukaan landasan pacu lainnya memengaruhi panjang landasan pacu. Fasilitas landasan Pacu ini memiliki banyak bagian, dan masing-masing bagian memiliki kebutuhan yang berbeda.

2.3.1 Elemen-Elemen Landasan Pacu (*Runway*)

Elemen-elemen yang terdapat pada landasan pacu sudah diatur dan ditentukan berdasarkan *Aerodrome Reference Code* (ARC) dengan menggunakan kode nomor dan huruf. Terdapat bagian-bagian penting pada landasan pacu yaitu:



Gambar 2. 2 Tampak Atas Elemen *Runway*

a. *Runway Shoulder* atau Bahu Landasan Pacu

Merupakan area di ujung tepi perkerasan landasan pacu yang dirancang untuk menahan erosi yang disebabkan oleh hembusan jet juga digunakan sebagai jalur *ground vehicle* (kendaraan darat) untuk pemeliharaan dan keadaan darurat, serta untuk menyediakan area peralihan antara bagian perkerasan dan *strip runway*.

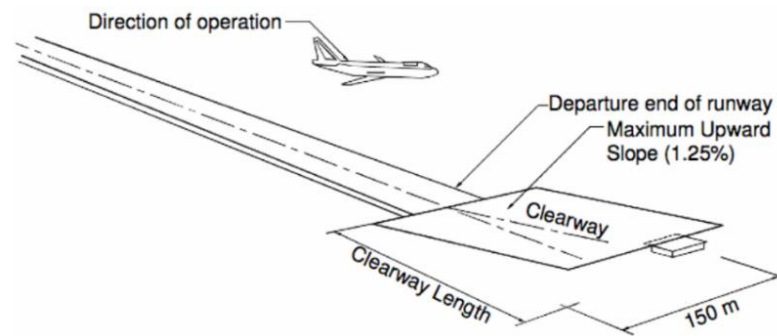
b. RESA (*Runway and safety area*)

Merupakan area simetris yang diperpanjang dari garis tengah *runway* dan membatasi sebagian ujung *strip runway* untuk mengurangi risiko kerusakan pesawat yang mendekati atau menjauhi landasan pacu selama kegiatan *take off* (lepas landas) dan *landing* (pendaratan).

c. *Clearway*

Merupakan area di ujung landasan pacu tinggal landas, baik di permukaan tanah maupun permukaan air di bawah pantauan operator bandar udara, yang dipilih dan ditujukan sebagai daerah yang aman bagi pesawat ketika mencapai

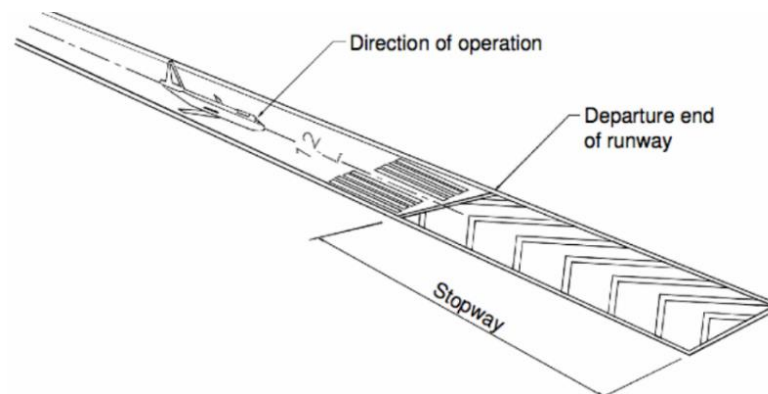
ketinggian tertentu. *Clearway* juga merupakan area bebas terbuka untuk melindungi pesawat saat melakukan *manuver* pendaratan dan lepas landas.



Gambar 2. 3 *Clearway*

d. *Stopway*

Merupakan suatu area tertentu yang berbentuk segiempat yang ada di permukaan tanah terletak di akhir bagian *landing* (tinggal landas) dimaksudkan untuk berhenti pesawat saat pembatalan *landing*.



Gambar 2. 4 *Stopway*

e. *Turning Area*

Merupakan bagian dari landasan pacu yang digunakan untuk pesawat melakukan gerakan memutar, baik untuk membalikan arah maupun untuk parkir di *apron*.

f. *Runway Strip*

Merupakan luasan tanah yang diratakan dan dibersihkan tanpa benda-benda yang mengganggu. Dimensinya ditentukan oleh panjang landasan pacu dan jenis instrumen pendaratan (*precision approach*) yang digunakan.

g. *Holding Bay*

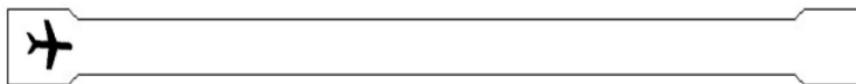
Merupakan area tertentu dimana pesawat dapat menunggu atau menyalip untuk mengoptimalkan gerakan permukaannya.

2.3.2 Konfigurasi Landasan Pacu (*Runway*)

Terdapat banyak konfigurasi landasan pacu. Kebanyakan merupakan kombinasi dari konfigurasi dasar (*basic configuration*). Konfigurasi dasar tersebut adalah:

a. Landasan Tunggal

Merupakan konfigurasi yang paling sederhana, sebagian besar bandar udara di Indonesia memiliki landasan pacu tunggal. Diperkirakan kapasitas landasan pacu dalam kondisi VFR (*Visual Flight Rule*) adalah kisaran 45-100 pergerakan per jam. Secara umum, VFR berarti kondisi cuaca sehingga pesawat dapat mempertahankan jarak pemisahan yang aman dengan cara-cara visual (Basuki, 1984). Pada kondisi IFR (*Instrumen Flight Ruler*), kapasitas berkurang menjadi 50-70 pergerakan, tergantung komposisi perakitan pesawat dan alat bantu navigasi yang tersedia.



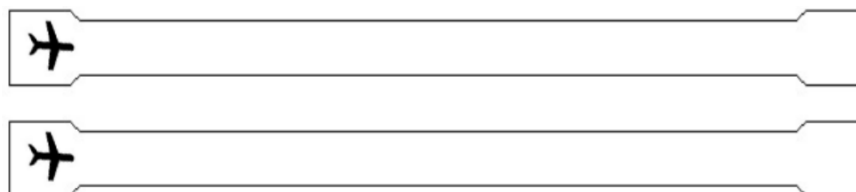
Gambar 2. 5 Konfigurasi Landasan Tunggal

b. Landasan Pararel

Kapasitas landasan paralel tergantung pada jumlah landasan dan pemisahan/penjarakan antara kedua landasan. Biasanya terdapat dua atau empat landasan sejajar (Basuki, 1984).

Penjarakan landasan dibagi menjadi tiga, yaitu:

1. Berdekatan (*close*)
2. Menengah (*intermediate*)
3. Jauh (*far*)



Gambar 2. 6 Konfigurasi Landasan Pararel

Tergantung pada tingkat kebebasan dari landasan pacu dalam kondisi IFR. Landasan sejajar berdekatan (*close*) berjarak antara sumbu 700 ft = 213 m (untuk lapangan terbang pesawat transport) minimum hingga 3500 ft = 1067 m. Dalam kondisi IFR operasi penerbangan pada suatu landasan tergantung pada

operasi landasan yang lain. Landasan sejajar menengah (*intermediate*) dipisahkan dengan jarak 3500 ft hingga 5000 ft = 1524 m. Dalam kondisi IFR kedatangan pada satu landasan tidak tergantung kepada keberangkatan pada landasan yang lain. Sedangkan untuk landasan sejajar jauh (*far*) dipisahkan dengan jarak 4300 ft = 1310 m atau lebih. Dalam kondisi IFR dua landasan dapat dioperasikan tanpa tergantung satu sama lain untuk kedatangan maupun keberangkatan pesawat.

Dalam situasi di mana bangunan terminal berada di antara dua landasan sejajar, landasannya dipisahkan jauh dari satu sama lain sehingga tersedia ruang untuk bangunan, *apron* di depan terminal, dan landas hubung yang memadai. Untuk landasan sejajar empat, pasangan dibuat rapat, tetapi cukup jauh satu sama lain untuk memungkinkan gedung terminal.

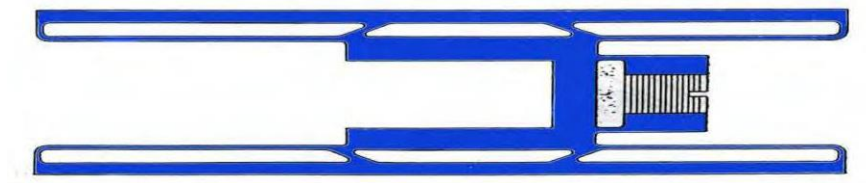
Kapasitas per jam dari landasan sejajar berjarak dekat, menengah, dan jauh berkisar antara 100 hingga 200 gerakan dalam kondisi VFR, tergantung pada campuran pesawat. Bandar udara yang melayani pesawat penerbangan umum yang kecil memiliki kapasitas yang lebih tinggi.

Dalam kondisi VFR, jarak antara dua landasan pacu tidak mempengaruhi kapasitas. Dalam kondisi IFR, kapasitas landasan pacu sejajar berjarak dekat berkisar antara 50 hingga 60 operasi, tergantung pada komposisi campuran pesawat terbang, landasan pacu sejajar berjarak menengah berkisar antara 60 hingga 75 operasi per jam, dan landasan pacu sejajar berjarak jauh berkisar antara 100 hingga 125 operasi per jam.

c. Landasan Dua Jalur

Landasan dua jalur terdiri dari dua landasan pacu sejajar yang berjarak dekat satu sama lain (700 hingga 2499 ft) dan memiliki landas hubung keluar yang cukup. Walaupun kedua landasan pacu dapat digunakan untuk operasi penerbangan campuran, landasan pacu yang terletak paling jauh (sebelah luar) dari gedung terminal digunakan untuk kedatangan dan landasan pacu yang terletak paling dekat dengan gedung terminal digunakan untuk keberangkatan. Dalam kondisi VFR, landasan dua jalur dapat menampung lalu lintas sebesar 70% lebih banyak dari landasan pacu tunggal dan dalam kondisi IFR, 60% lebih banyak dari landasan pacu tunggal.

Didapatkan bahwa kapasitas tidak begitu peka terhadap jarak garis sumbu landasan pacu dari 1000 hingga 2499 ft. Oleh karena itu, ketika pesawat terbang besar digunakan, jarak antara kedua landasan pacu tidak boleh lebih kecil dari 1000 kaki. Dengan jarak ini, pemberhentian pesawat di *taxiway* antara dua landasan dapat dilakukan tanpa mengganggu operasi gerakan pesawat di landasan lain. Untuk meningkatkan kapasitas, ada landasan hubung sejajar di antara landasan pacu. Keunggulan utama dari landasan pacu dua jalur adalah meningkatkan kapasitas dalam kondisi IFR dengan menggunakan lahan yang lebih sedikit.



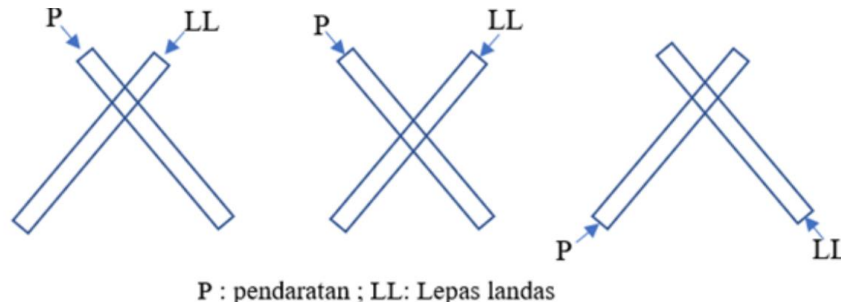
Gambar 2. 7 Konfigurasi Landasan Dua Jalur

d. Landasan Berpotongan

Landasan pacu yang berpotongan ini diperlukan apabila terdapat angin yang relatif kuat dan bertiup lebih dari satu arah, karena hanya ada satu landasan pacu akan menyebabkan angin sisi (*cross wind*) yang berlebihan. Jika angin kencang bertiup dari satu arah ke arah lain, hanya satu dari dua landasan yang bersilangan yang dapat digunakan. Meskipun kapasitas dikurangi, itu lebih baik daripada pesawat tidak dapat mendarat di lokasi tersebut. Jika angin lemah (kurang dari 20 knots atau 13 knots), kedua landasan dapat digunakan bersama. Kapasitas dua landasan pacu yang berpotongan sangat bergantung pada dua faktor. Pertama adalah strategi landasan pacu, yang disebut lepas landas atau mendarat, dan yang kedua adalah letak potongan landasan pacu (misalnya di tengah atau di dekat ujung). Kapasitas berkurang seiring jarak titik potong dari ujung lepas landas dan ambang pendaratan. Kapasitas tertinggi dicapai apabila titik potong terletak dekat ujung lepas landas dan ambang pendaratan yang ditunjukkan pada gambar kesatu, kapasitas per jam adalah dari 60 hingga 70 operasi dalam kondisi IFR dan 70 hingga 175 operasi dalam kondisi VFR, yang tergantung pada campuran pesawat.

Kapasitas per jam untuk strategi yang ditunjukkan pada gambar kedua adalah dari 45 hingga 60 dalam kondisi IFR dan dari 60 hingga 100 dalam kondisi

VFR. Untuk strategi yang ditunjukkan pada gambar ketiga kapasitas per jam dalam kondisi IFR adalah dari 40 hingga 60 dan dalam kondisi VFR adalah dari 50 hingga 100 (Horonjeff et al., 1983).

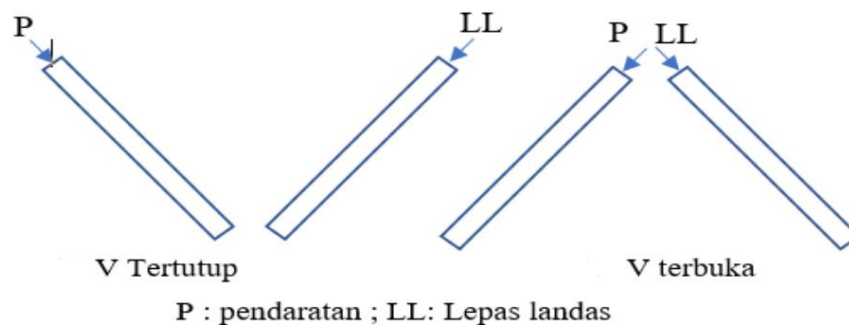


Gambar 2. 8 Konfigurasi Landasan Berpotongan

e. Landasan V Terbuka

Landasan yang arahnya memencar (*divergen*) tetapi tidak berpotongan disebut landasan pacu V-terbuka. Seperti halnya dengan landasan pacu yang berpotongan, landasan pacu V terbuka akan berubah seolah-olah sebagai landasan pacu apabila angin bertiup kuat dari satu arah. Apabila tiupan angin lemah, kedua landasan dapat digunakan bersamaan.

Strategi menghasilkan kapasitas terbesar bila operasi penerbangan dilakukan menjauhi V seperti yang ditunjukkan pada gambar kesatu. Dalam kondisi IFR, kapasitas per jam dari strategi ini bervariasi dari 50 hingga 80 operasi tergantung pada campuran pesawat, dan dalam kondisi VFR berkisar antara 60 hingga 180. Apabila operasi penerbangan dilakukan menuju V yang ditunjukkan pada gambar kedua, kapasitas per jam berkurang menjadi 50 atau 60 dalam kondisi IFR, 50 atau 100 dalam kondisi VFR.



Gambar 2. 9 Konfigurasi Landasan V Terbuka

2.3.3 Perkerasan Landasan Pacu (*Runway*)

Perkerasan merupakan struktur yang terdiri dari beberapa lapisan yang terdiri dari *surface*, *base course*, dengan daya dukung dan kekerasan yang

berlainan. Struktur tersebut disusun di atas *subgrade*, dan berfungsi untuk menerima beban yang berada di atasnya kemudian didistribusikan ke lapisan *subgrade*. Setiap lapisan harus cukup kekerasan dan ketebalannya sehingga tidak mengalami perubahan bentuk yang disebabkan tidak mampu menahan beban. Perkerasan terdiri dari dua jenis, diantaranya:

a. Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*)

Perkerasan lentur adalah suatu perkerasan yang mempunyai sifat elastis dimana perkerasan akan melendut saat diberi pembebanan. Pada umumnya susunan lapisan perkerasan terdiri dari beberapa lapisan yaitu:

1. Lapisan Permukaan (*Surface Course*)

Perkerasan lentur yang berada di atas lapis pondasi disebut lapisan permukaan (*surface course*). Lapis permukaan terdiri dari dua lapisan yaitu lapis aus dan lapis pengikat. Lapis aus terbuat dari campuran beraspal panas dengan gradasi padat. Lapis pengikat biasanya memiliki agregat yang lebih besar dengan kadar aspal yang lebih sedikit.

Permukaannya memiliki banyak persyaratan struktural dan fungsional. Banyak jenis permukaan aspal dapat dibangun karena banyaknya material aspal yang tersedia untuk digunakan dalam pembuatan struktur perkerasan dan fleksibilitas metode pelaksanaannya. Tipe permukaan berbeda-beda tergantung pada beban yang akan diterima oleh permukaan perkerasan dan jenis bahan bangunan yang tersedia.

Lapis permukaan dalam perkerasan lentur dapat dibagi menjadi beberapa sub-bagian. Secara tipikal, dari atas ke bawah adalah sebagai berikut (Federal Highway Administration, 2006):

- 1) *Seal Coat*, jenis perawatan permukaan yang biasanya digunakan untuk mempertahankan lapis permukaan. Aspal *seal coat*, lapis tipis aspal tebal kurang dari 0.5 in, digunakan untuk melindungi lapis aus dari air dan memperkuat teksturnya.
- 2) *Wearing Course*, lapisan yang biasanya bergradasi padat. Lapis aus kedap air, tahan gelincir, tahan terhadap alur, dan halus.
- 3) *Binder Course*, dikenal sebagai lapis pondasi aspal, adalah lapisan campuran aspal panas yang digunakan tepat di bawah lapis aus.

- 4) *Tack Coat*, digunakan pada area antara lapis aus dan lapis pengikat. *Tack coat* aspal adalah lapisan aspal tipis yang digunakan untuk mengikat aspal beton yang sudah ada pada ikatan tertentu serta untuk mengikat antara dua lapisan berbeda dari perkerasan aspal, seperti lapisan aspal lama dengan lapisan tambahan atau *overlay*.
- 5) *Prime Coat*, bahan perawatan permukaan yang dibuat dengan menyemprot atau menghamparkan aspal cair pada permukaan tanah, kerikil, atau batu pecah. Pemberian pelapis dasar dilakukan dengan tujuan menutup pori-pori tanah, memungkinkan rembesan air dari tanah dasar, mengikat debu dan material butiran lepas, dan meningkatkan adhesi antara pondasi dan lapis permukaan.

Meskipun perkerasan ideal terdiri dari lapisan ikatan dan lapisan permukaan, banyak perkerasan lentur yang dibangun hanya dengan satu lapisan. Untuk contoh, jika tebal lapis aus hanya 5 cm, perkerasan biasanya dibangun dengan satu operasi, tanpa membedakan antara lapis pengikat dan lapis permukaan.

2. Lapisan Pondasi (*Base Course*)

Lapis pondasi (*base course*) terletak di atas lapis pondasi bawah atau jika lapis pondasi bawah tidak digunakan di atas tanah dasar. Material lapis pondasi terdiri dari agregat, seperti batu pecah, sirtu, terak pecah (*crushed slag*) atau campuran-campuran material tersebut.

Dalam perkerasan lentur, lapisan pondasi dan pondasi bawah membutuhkan ketebalan yang lebih besar daripada lapis permukaan karena dibutuhkan untuk mendistribusikan tegangan yang dihasilkan oleh beban dari atasnya. Lapisan pondasi berfungsi sebagai elemen struktural utama sistem lapis perkerasan, dan fungsinya meliputi:

- Menahan tekanan yang disebabkan oleh lalu lintas agar tanah dasar tidak mengalami tekanan yang berlebihan.
- Berfungsi sebagai dasar perletakan lapis permukaan.
- Melakukan fungsi drainase saat air hujan merembes melalui retakan atau sambungan.

Lapis pondasi terkadang diletakkan secara langsung pada tanah dasar, kebanyakan orang membuatnya di atas lapis pondasi bawah. Dalam membangun lapis pondasi, hal-hal yang paling penting adalah ketebalan, stabilitas terhadap beban lalu lintas, dan ketahanan terhadap pelapukan. Hal tersebut terjadi dikarenakan lapis pondasi kurang terlindungi daripada tanah dasar, lapis pondasi juga harus tahan terhadap pelapukan. Bahan dasar perkerasan ini biasanya berupa material granuler yang terbuat dari kerikil atau batu pecah dengan gradasi tertentu yang membuatnya menjadi material yang stabil, mudah dikerjakan, dan dipadatkan.

3. Lapisan Pondasi Bawah (*Subbase Course*)

Dalam penyebaran beban, lapis pondasi bawah digunakan untuk membuat lapisan perkerasan yang relatif cukup tebal dengan biaya yang lebih murah. Kualitas lapis pondasi bawah dapat sangat bervariasi sejauh persyaratan tebal rancangan dipenuhi. Material lapis pondasi bawah memiliki kualitas yang lebih tinggi daripada lapis pondasi dalam hal kekuatan, plastisitas, dan gradasi.

Tidak ada alasan untuk menggunakan lapis pondasi bawah kecuali tanah dasar sangat buruk atau material lapis pondasi tidak tersedia di lokasi proyek. Namun, jika tanah dasar memenuhi syarat untuk digunakan sebagai lapis pondasi, lapis pondasi bawah tidak perlu dipasang.

Lapis pondasi bawah juga dapat terdiri dari tanah yang distabilisasi, granuler yang dipadatkan, atau kerikil alam yang stabil dan awet, tetapi material ini mungkin tidak memenuhi semua syarat untuk lapis pondasi. Hasil uji lapangan atau laboratorium menentukan persyaratan kepadatan dan kadar air. Lapis pondasi bawah memiliki beberapa fungsi:

- Berfungsi sebagai bagian dari struktur perkerasan untuk mendukung dan menyebarkan beban dari atasnya;
- Berfungsi sebagai lapisan drainase jika terdapat air di dalam komponen perkerasan, seperti ketika air hujan masuk melalui retakan;
- Meningkatkan efisiensi penggunaan material dengan mengurangi tebalnya untuk meminimalkan biaya; dan
- Mencegah material tanah dasar masuk ke dalam lapisan pondasi.

Lapis pondasi bawah dipasang di atas tanah dasar yang lunak untuk menutup tanah dasar dan memberikan daya dukung yang cukup. Dengan demikian, alat berat dapat beroperasi dengan baik selama pelaksanaan. Dalam beberapa kasus, lapis pondasi bawah dirawat atau dicampur dengan semen, aspal, kapur, dan abu terbang (*flayash*) untuk membuatnya lebih kuat.

4. Lapisan Tanah Dasar (*Subgrade*)

Tanah dasar adalah bagian dasar di mana pondasi bawah (*subbase*), pondasi (*base*), atau perkerasan berada. Dengan begitu stabilitas struktur tanah dasar menentukan integritas struktur perkerasan. Perkerasan jalan mendistribusikan beban roda pesawat atau kendaraan ke tanah dasar. Tanah dasar yang mengalami tegangan berlebihan akan mengalami deformasi permanen yang berlebihan, yang dapat menyebabkan permukaan perkerasan di atasnya bergelombang dan menyebabkan struktur perkerasan gagal.

Tanah dasar mengalami tegangan karena beban roda kendaraan yang lebih rendah daripada lapis permukaan dan pondasi. Kecuali situasi yang tidak biasa, tegangan yang disebabkan oleh roda berkurang seiring dengan kedalaman tanah dasar. Kondisi yang tidak biasa seperti tanah dasar berlapis-lapis, kadar air yang tinggi, dan kepadatan yang sangat berbeda. Hal ini dapat merubah perilaku penyebaran tegangan.

Perancangan perkerasan memerlukan pemahaman tentang sifat elastis dari material perkerasan dan tanah dasar serta tingkat tegangan yang dapat ditahan oleh perkerasan tanpa menyebabkan retak atau deformasi yang berlebihan. Lendutan terjadi pada perkerasan dan tanah dasar karena beban kendaraan pada permukaan perkerasan. Lendutan harus cukup kecil untuk mencegah terjadinya kerusakan perkerasan dengan cepat.

Dalam menggunakan teori perancangan perkerasan, dibutuhkan untuk mengetahui sifat-sifat elastis material (seperti CBR dan modulus elastis) perkerasan dan tanah dasar, beserta seberapa tingkat tegangan yang masih dapat ditahan oleh perkerasan tanpa menyebabkan retak atau deformasi yang berlebihan.

b. Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)

Perkerasan kaku adalah struktur perkerasan yang terdiri dari lapisan beton dengan ketebalan tertentu yang terbuat dari campuran semen dan agregat. *Subbase course* yang telah dipadatkan dan ditunjang oleh lapisan *grade* (tanah asli) berada di bawah lapisan beton. Ujung landasan, pertemuan antara landasan pacu dan *taxiway*, *apron*, area yang digunakan untuk parkir pesawat, dan area yang terkena panas blas jet dan limpahan minyak adalah area di mana perkerasan kaku biasanya digunakan.

2.4 Pesawat Terbang

Berdasarkan Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 1 tahun 2009 tentang Penerbangan yang dimaksud dengan pesawat terbang yang selanjutnya disebut pesawat adalah pesawat udara yang lebih berat dari udara, bersayap tetap dan dapat terbang dengan tenaga sendiri.

2.4.1 Karakteristik Pesawat Terbang

Menurut (Horonjeff et al., 1983) berat pesawat terbang sangat penting untuk menentukan tebal perkerasan *runway*, *taxiway*, dan *apron*, serta panjang *runway*. Bentang sayap dan panjang badan pesawat memengaruhi ukuran *apron* parkir, yang berdampak pada susunan gedung terminal. Selain mempengaruhi jari-jari putar yang diperlukan untuk kurva perkerasan, ukuran pesawat juga mempengaruhi lebar landasan pacu, *taxiway*, dan jarak antara keduanya. Kapasitas penumpang memengaruhi fasilitas di dalam dan sekitar terminal. Terdapat beberapa hal yang harus diperhatikan pada pesawat terbang yaitu (Mahyuddin et al., 2021):

a. Berat (*Weight*)

Berat pesawat perlu diketahui untuk merencanakan tebal struktur perkerasan dan kekuatan landasan pacu.

b. Ukuran (*Size*)

Lebar, panjang pesawat (*fuselag*) dan sayap mempengaruhi dimensi landasan pacu.

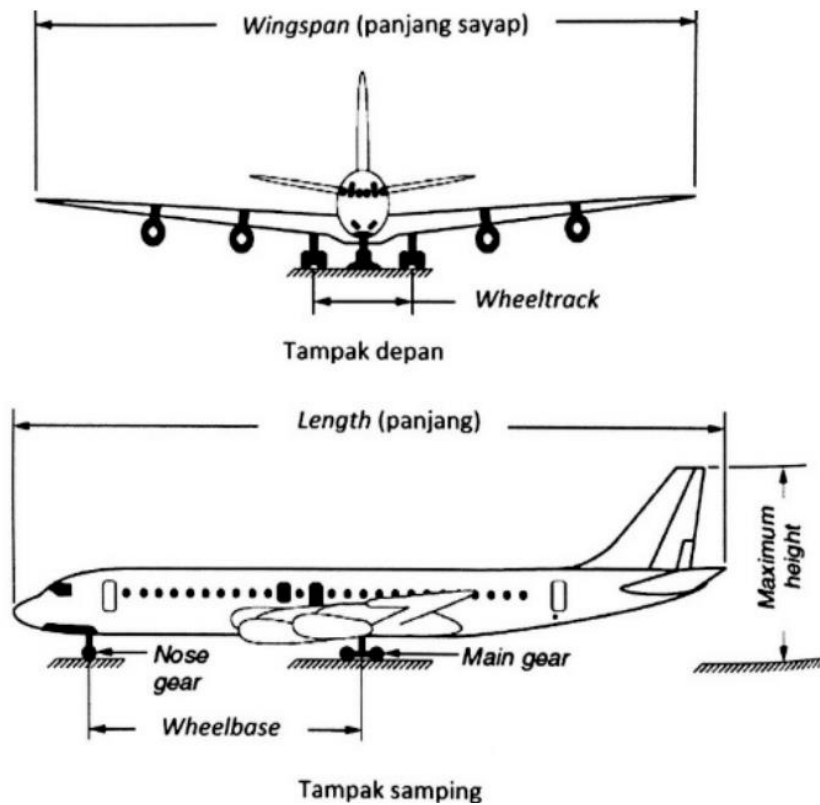
c. Kapasitas Penumpang (*Capacity*)

Kapasitas penumpang akan berpengaruh terhadap perhitungan perencanaan kapasitas landasan pacu. Sebagian besar seluruh luas bandara diperlukan untuk landasan pacu.

d. Konfigurasi Roda (*Wheel Configuraion*)

Konfigurasi roda (tunggal, ganda, tandem ganda) menentukan ketebalan perkerasan pada area pendaratan. Badan pesawat yang lebar biasanya mempunyai konfigurasi gir pendaratan utama atau tendem ganda yang dapat mendistribusikan beban dari berat pesawat kepada lapisan-lapisan landasan.

Rencana dan desain bandar udara dipengaruhi oleh dimensi pesawat terbang. Kapasitas penumpang pesawat terbang yang digunakan dalam operasi penerbangan biasanya berkisar antara 10 hingga 700 orang. Berat pesawat berkorelasi dengan kapasitas penumpangnya: semakin besar kapasitas pesawat, semakin berat pesawat. Berbagai faktor, termasuk kekuatan struktur lapisan perkerasan dan panjang landasan pacu, dipengaruhi oleh berat pesawat terbang.



Gambar 2. 10 Dimensi Karakteristik Pesawat Terbang

Beberapa istilah yang terkait dengan dimensi pesawat terbang yang penting terhadap perencanaan dan perancangan bandar udara, diantaranya:

- a. *Length* (panjang) pesawat terbang diukur dari bagian depan (*fuselag*) atau badan utama (*main body*) pesawat hingga ekor (*empennage*). Area parkir pesawat diukur dengan panjang pesawat. Selain itu, standar yang ditetapkan untuk menentukan jumlah alat penyelamatan dan pemadaman kebakaran yang harus

disediakan oleh pengelola bandar udara komersial adalah panjang pesawat terbesar yang memiliki setidaknya lima keberangkatan per hari.

- b. *Wingspan* (panjang sayap) pesawat adalah jarak total dari satu ujung sayap ke ujung sayap utama pesawat. Hal tersebut diukur untuk menentukan lebar area parkir dan jarak antara *gates*. Selain itu, untuk mengukur lebar landasan pacu dan *taxiway* serta separasi mereka (jarak pemisah).
- c. *Wheel base* adalah jarak antara as roda pendaratan utama (*main landing gear*) pesawat dengan as roda depan (*nose gear*) atau roda ekor (*tail-wheel*) dalam kasus pesawat *tail-wheel*. Jalur roda pesawat terbang didefinisikan sebagai jarak antara roda luar dengan roda pendarat utama pesawat terbang.
- d. *Wheel track* sebuah pesawat terbang didefinisikan sebagai jarak antara as roda terluar (*outer wheels*) dari *main landing gear* pesawat. *Wheelbase* dan *wheel track* sebuah pesawat digunakan untuk menetapkan radius putar (*turning radius*) minimum yang berperan besar dalam perancangan *taxiway runoffs*, *taxiway intersections* dan area lainnya di sisi udara bandar udara yang membutuhkan pesawat untuk melakukan tikungan.
- e. *Turning radius* merupakan sudut kemudi roda (*nose gear steering angle*). Sudut lebih kecil memiliki radius yang lebih kecil. Besaran radius dihitung berdasarkan jarak antara pusat rotasi dan bagian pesawat. Radius terbesar menyebabkan jarak bersih kritis antara pesawat dan bangunan.

2.4.2 Jenis Pesawat Berdasarkan Roda Pendaratan

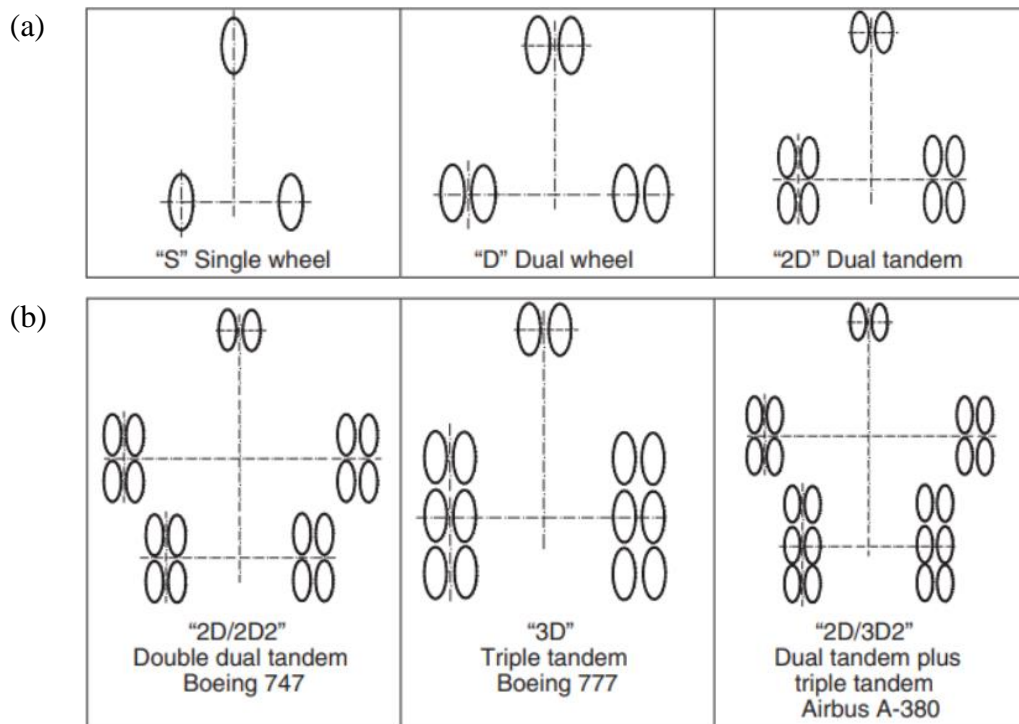
Roda pendaratan berfungsi sebagai penopang utama pesawat dan memainkan peran penting dalam mendistribusikan berat pesawat ke permukaan yang ditumpangnya. Konfigurasi *landing gear* berbeda untuk setiap pesawat. Semua konfigurasi roda pendaratan memberikan pemahaman berikut:

- a. *Single Wheel Configuration* (Konfigurasi Roda Tunggal)
Konfigurasi roda tunggal menunjukkan bahwa pada roda utama pesawat terdapat dua roda dengan satu roda di masing-masing penyangga.
- b. *Dual Wheel Configuration* (Konfigurasi Roda Ganda)
Konfigurasi roda ganda menunjukkan bahwa pada roda utama pesawat terdapat empat roda dengan dua roda di masing-masing penyangga.

c. *Dual Tandem Configuration* (Konfigurasi Roda Ganda Tandem)

Konfigurasi roda ganda tandem menunjukkan bahwa pada roda utama pesawat terdapat dua roda dengan dua roda di masing-masing penyangga.

Berikut merupakan konfigurasi roda pendaratan yang mana gambar 2.11.a merupakan roda pendaratan standar dan gambar 2.11.b roda pendaratan kompleks (Federal Aviation Administration, 2005):



Gambar 2. 11 Konfigurasi Roda Pendaratan

2.4.3 Berat Pesawat Terbang

Beberapa komponen berat pesawat terbang yang paling penting untuk menghitung panjang landasan pacu adalah sebagai berikut (Mahyuddin et al., 2021):

1. Berat kosong operasi (*Operating Empty Weight*), juga disebut OMW, adalah berat kosong pesawat yang mencakup awak pesawat dan semua peralatan yang diperlukan untuk penerbangan, kecuali bahan bakar pesawat dan muatan. *Operating weight empty* ini tidak tetap untuk pesawat-pesawat komersil, dikarenakan besarnya tergantung pada konfigurasi tempat duduk.
2. Muatan (*Payload*) adalah produksi muatan (penumpang atau barang) yang diangkut pesawat. Termasuk didalamnya surat-surat kargo, penumpang, dan bagasinya. *Maximum structural pay load* adalah muatan maksimum yang

diizinkan oleh Direktorat Jenderal Perhubungan Udara Kementerian Perhubungan untuk setiap jenis pesawatnya.

3. Berat tanpa bahan bakar (*Zero Fuel Weight*) adalah beban maksimum yang terdiri dari berat bahan bakar dan berat kosong operasional, disebut berat tanpa bahan bakar. Penambahan bahan bakar harus dilakukan dengan benar agar tidak menimbulkan momen lentur yang berlebihan pada badan pesawat dan sayap. Sehingga pada saat pesawat miring ke samping, cairan bahan bakar tidak akan terkumpul pada satu sisi saja, melainkan tetap terbagi rata.
4. Berat Ramp (*Ramp Weight*) adalah berat pesawat saat menuju landasan pacu dari *apron* dan berlari di atas landasan sampai meninggalkan landasan. Pesawat berjalan dengan kekuatannya sendiri, membakar bahan bakar hingga terjadinya kehilangan berat. Berat pesawat yang terjadi saat itu akan ditahan oleh roda utama (*main gear*) dan roda depan (*nose gear*).
5. Berat lepas landas (*Take Off Weight*) adalah berat yang mencakup berat kosong operasi, muatan, bahan bakar cadangan, dan berat kosong operasi (tidak termasuk bahan bakar yang digunakan untuk gerakan awal). Berat bahan bakar disini ialah bahan bakar yang cukup untuk melakukan perjalanan pada rute perjalanan ditambah dengan bahan bakar cadangan sebagai persediaan apabila terjadi keadaan darurat.
6. Berat pendaratan (*Landing Weight*) adalah berat pesawat saat mendarat sesuai dengan berat pesawat dan persyaratan kelayakan penerbangan. Selama penerbangan berat pesawat akan berkurang seiring dengan pengonsumsi bahan bakar, sehingga pada saat mendarat beratnya akan lebih ringan daripada saat *take-off*. Pada titik tertentu, pilot harus membuang bahan bakar atau barang lain sebelum kembali ke bandar udara agar *maximum structural landing weight* tidak melampaui.

2.5 Metode ICAO (International Civil Aviation Organization)

International Civil Aviation Organization atau disingkat ICAO adalah sebuah perusahaan penerbangan sipil internasional. ICAO didirikan setelah *Chicago Convention*, sebuah konferensi penerbangan sipil internasional, yang diadakan di Chicago pada 4 April 1944. ICAO bekerja sama dengan industri penerbangan global dan organisasi-organisasi penerbangan mengembangkan *Standards and*

Recommended Practice (SARP). Secara umum, SARP adalah standar dan rekomendasi untuk pelaksanaan yang diterapkan di dunia penerbangan. ICAO sudah membuat lebih dari 1000 SARP yang telah ditulis dalam dokumen yang disebut annex, dan terdapat 18 annex. Peraturan yang dikeluarkan oleh ICAO berlaku secara internasional. ICAO juga memiliki beberapa peraturan yang dijelaskan pada *Aerodrome Design Manual* dan terbagi menjadi beberapa bagian. ICAO menetapkan metode ACN-PCN untuk perhitungan bandara, terutama landasan pacu.

2.5.1 Aircraft Classification Number (ACN)

Aircraft Classification Number (ACN) merupakan nilai yang menunjukkan efek relatif sebuah pesawat udara di atas tanah untuk kategori *sub-grade* standar tertentu. Nilai ACN untuk semua jenis pesawat (pesawat sipil) biasanya dikeluarkan oleh pabrik pesawat.

ACN dihitung dengan memperhatikan posisi pusat gravitasi (CG) yang memberikan beban kritis pada gigi kritis. Biasanya posisi CG paling belakang yang sesuai dengan massa maksimum kotor landasan yang digunakan sebagai parameter untuk menghitung ACN. Setiap pesawat terbang memiliki nilai ACN yang masing-masing berbeda antara satu dengan yang lainnya, tergantung kepada berat pesawat (*Maximum Take-off Weight* dan *Operating Empty Weight*) dan konfigurasi pesawat, seperti tekanan ban standar, konfigurasi dan geometrik roda, serta lain-lain.

2.5.2 Pavement Classification Number (PCN)

Pavement Classification Number (PCN) merupakan daya dukung perkerasan untuk operasi tak terbatas pesawat udara dengan nilai ACN kurang dari atau sama dengan PCN. Jika nilai ACN dan tekanan roda pesawat lebih besar dari nilai PCN pada kategori *subgrade* tertentu yang dipublikasikan, maka operasi pesawat udara tidak dapat diberikan ijin beroperasi kecuali dengan mengurangi beban operasi. Nilai PCN harus memrepresentasikan korelasi antara beban pesawat yang diijinkan dengan nilai ACN dari pesawat terkritis yang beroperasi selama umur rencana struktur perkerasan.

a. Sistem Penulisan PCN

Berdasarkan FAA Advisory Circular AC 150/5335-5C tahun 2014, format publikasi sistem penulisan PCN mengikuti ketentuan sebagai berikut:

1. Nilai Numerik PCN

Nilai numerik kekuatan perkerasan terdiri dari angka 1 hingga tak hingga dan merupakan perkiraan relatif dari kapasitas daya dukung perkerasan akibat beban roda tunggal standar pesawat udara pada perkerasan.

2. Kode Jenis Perkerasan

Jenis perkerasan sesuai dengan struktur penyusunnya dibagi menjadi dua, yaitu perkerasan lentur (*flexible pavement*) dan perkerasan kaku (*rigid pavement*).

Tabel 2. 1 Distribusi Beban pada Perkerasan Lentur

Jenis Perkerasan	Kode Jenis
<i>Flexible</i>	F
<i>Rigid</i>	R

Sumber: SMORPCN (FAA, 2011)

3. Kode Kategori Daya Dukung Tanah Dasar (*Subgrade*)

Perkerasan tanah dasar (*subgrade*) terbagi menjadi empat kategori berdasarkan kekuatan daya dukungnya. Kategori ini terdiri dari perkerasan lentur dan kaku.

Tabel 2. 2 Kode Kategori Daya Dukung Tanah Dasar Perkerasan Lentur

Kategori	Nilai CBR (%)	Represent Pci (MN/m ³)	Kode
<i>High</i>	15	CBR \geq 13	A
<i>Medium</i>	10	8 < CBR < 13	B
<i>Low</i>	6	4 < CBR \leq 8	C
<i>Ultra Low</i>	3	CBR \leq 4	D

Sumber: SMORPCN (FAA, 2011)

Tabel 2. 3 Kode Kategori Daya Dukung Tanah Dasar Perkerasan Kaku

Kategori	Nilai CBR (%)	Represent Pci (MN/m ³)	Kode
<i>High</i>	552,6 (150)	k \geq 442 (\geq 120)	A
<i>Medium</i>	284,7 (80)	221 < k \leq 442 (60 < k < 120)	B
<i>Low</i>	147,4 (40)	92 < k \leq 221 (25 < k < 60)	C
<i>Ultra Low</i>	73,7(20)	k \leq 92 (\leq 25)	D

Sumber: SMORPCN (FAA, 2011)

4. Kode Tekanan Roda Pendaratan

Tekanan roda pendaratan pada perkerasan dibedakan menjadi 4 kategori sesuai dengan besarnya tekanan yang diizinkan beroperasi.

Tabel 2. 4 Klasifikasi Tekanan Roda Pendaratan Pesawat

Kategori	Kode	Tekanan Roda
<i>Unlimited</i>	W	> 218 psi (> 1.5 MPa)
<i>High</i>	X	145 – 218 psi (1.0 MPa – 1.5 MPa)
<i>Medium</i>	Y	73 – 145 psi (0.5 MPa – 1.0 MPa)
<i>Low</i>	Z	≤ 73psi (≤ 0.5 MPa)

Sumber: SMORPCN PCN (FAA, 2011)

5. Kode Metode Evaluasi

Metode evaluasi penentuan nilai PCN dibedakan menjadi 2 cara, yaitu metode studi teknikal (kode “T”) melalui studi teknis dan komputasi data sedangkan metode evaluasi dengan uji coba dengan pesawat udara (kode “U”).

Tabel 2. 5 Format Penulisan Kode PCN

PCN	Jenis Perkerasan	Kategori Daya Dukung Tanah Dasar	Tekanan Roda Pendaratan	Metode Evaluasi
Nilai Numerik	<i>R = Rigid</i>	<i>A = High</i>	<i>W = Unlimited</i>	<i>T = Technical</i>
		<i>B = Medium</i>	<i>X = High</i>	
	<i>F = Flexible</i>	<i>C = Low</i>	<i>Y = Medium</i>	<i>U = Using Aircraft</i>
		<i>D = Ultra Low</i>	<i>Z = Low</i>	

Sumber: SMORPCN (FAA, 2011)

b. Perhitungan PCN

Berdasarkan Peraturan Dirjen Perhubungan Udara Nomor KP 93 tahun 2015, Pedoman Perhitungan PCN Perkerasan Prasarana Bandar Udara, perhitungan PCN merupakan bagian dari evaluasi sistem perkerasan *runway*, *taxiway*, dan *apron* bandar udara. Nilai PCN dihitung untuk berbagai tujuan, selain untuk memenuhi kebutuhan operasional pesawat, khususnya beban ijin pesawat operasional, terdapat beberapa tujuan perhitungan nilai PCN antara lain, yaitu:

1. Sebagai parameter dalam merencanakan peningkatan dan pemeliharaan di masa depan.
2. Sebagai parameter untuk mengoperasikan kembali prasarana yang tidak digunakan pada waktu tertentu.
3. Sebagai parameter untuk mengevaluasi pengoperasian pesawat dengan beban yang lebih besar dari pesawat yang sedang beroperasi.
4. Sebagai parameter dalam menilai daya dukung perkerasan setelah dioperasikan dalam jangka waktu tertentu, yang mana daya dukung perkerasan menurun seiring dengan waktu.

Secara umum, ada tiga metode perhitungan PCN, yaitu:

a) Metode Klasik

Metode klasik bergantung pada konsep perhitungan dan nilai PCN perkerasan yang dihitung berdasarkan daya dukung perkerasan dan nilai *subgrade* CBR. Perhitungan *ekuivalen annual departure* dilakukan dengan mengkonversi tipe roda pendaratan semua pesawat yang beroperasi ke pesawat kritis yang mana memiliki beban paling berat (Safira et al., 2023).

b) Metode Grafis

Metode grafis untuk perhitungan PCN dikembangkan untuk kepraktisan. *Ministry of Defence*, Inggris, membuat metode ini dengan membuat grafik korelasi dari berbagai komponen desain dan evaluasi.

c) Perhitungan ACN dan PCN Metode FAA AC 150-5335-5C

FAA mengembangkan aplikasi perangkat lunak yang disebut COMFAA, yang dapat menghitung nilai ACN dan PCN menggunakan prosedur dan ketentuan yang ditetapkan oleh ICAO. Perangkat lunak ini, bersama dengan pendukungnya berupa *spreadsheet*, dapat digunakan dalam dua mode perhitungan: mode perhitungan ACN dan mode perhitungan tebal perkerasan.

2.5.3 Metode ACN-PCN

Metode ACN (*Aircraft Classification Number*) - PCN (*Pavement Classification Number*) digunakan untuk mengontrol efektifitas dari beban pesawat terhadap struktur perkerasan landasan pacu. Metode ini dapat digunakan untuk mengukur daya dukung perkerasan pesawat operasi yang memiliki berat minimal

5.700 kg (12.500 lbs). Bandara yang memiliki trotoar untuk pesawat berukuran lebih kecil hanya perlu melaporkan massa maksimum yang diizinkan dan tekanan maksimum yang diizinkan jika berlaku.

Metode ini melibatkan membandingkan nilai PCN perkerasan dengan nilai ACN pesawat. Nilai PCN ialah sebuah klasifikasi untuk penomoran perkerasan yang mana angka tersebut menggambarkan kapasitas relatif pada perkerasan saat mendukung suatu beban dari pesawat udara yang sedang beroperasi pada landasan pacu tersebut. Nilai ACN untuk setiap jenis pesawat biasanya telah dipublikasikan oleh pabrik pembuatnya. Apabila nilai PCN perkerasan kurang atau sama dengan nilai ACN, pesawat dinyatakan dapat beroperasi di landasan bandar udara tanpa batasan (Farhan dan Surachman, 2021).

Apabila suatu pesawat dengan nilai ACN melebihi nilai PCN akan mengalami kerusakan akibat tidak memumpuni untuk menahan beban dari berat pesawat, namun pesawat tersebut masih dapat beroperasi dengan batasan berikut:

1. Nilai ACN yang diizinkan untuk perkerasan lentur adalah 10% di atas nilai PCN yang dilaporkan.
2. Untuk perkerasan kaku dan komposit, nilai ACN yang diizinkan adalah 5% di atas nilai PCN yang dilaporkan.
3. Jumlah pergerakan pesawat setiap tahun tidak boleh melebihi 5% dari total pergerakan pesawat setiap tahun.

Selain itu, metode evaluasinya dapat digunakan untuk melihat batasan izin operasional pesawat pada kondisi *overload*. Untuk nilai PCN yang dihitung dengan analog pesawat (kode "U), izin operasi pesawat dalam kondisi *overload* tidak diizinkan kecuali untuk pendaratan darurat. Untuk nilai PCN yang dihitung dengan perhitungan analitis (kode "T), izin operasi pesawat dalam kondisi *overload* diberikan dengan meninjau beban ijin (P_o) pesawat dibandingkan dengan beban aktual (P).

2.6 Metode Pendekatan Evaluasi Perkerasan

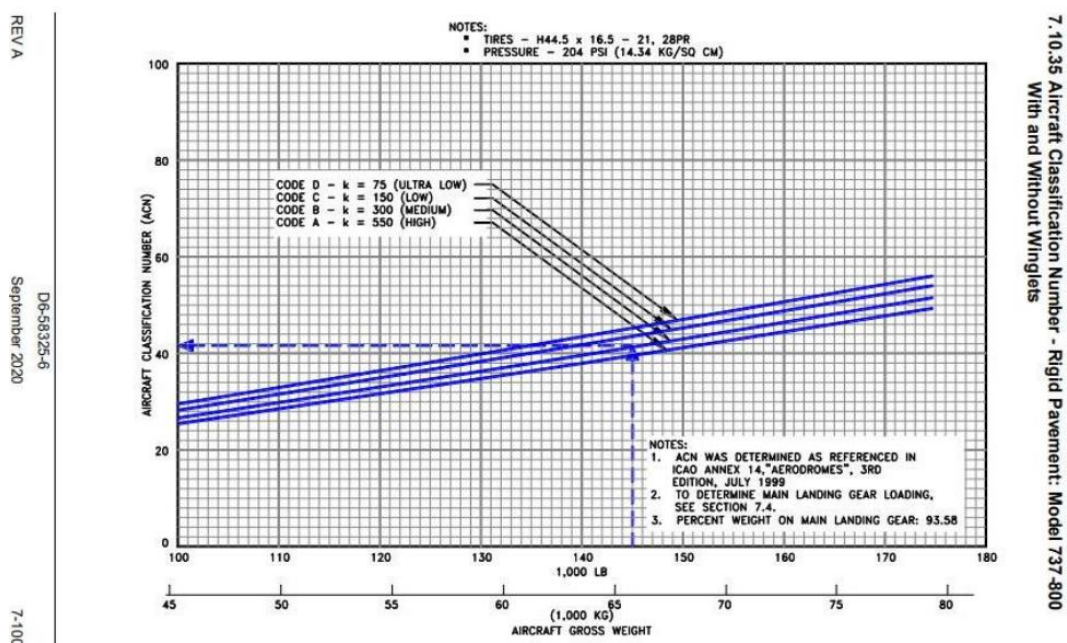
Metode yang dilakukan untuk mengevaluasi kekuatan landasan pacu dapat dilakukan dengan cara menentukan ACN dengan metode grafis dari pabrik pembuat pesawat atau juga dikenal dengan *Aircraft Manufacturer*, perangkat lunak COMFAA, dan dengan Metode *Canadian Department of Transportation*.

2.6.1 Metode Aircraft Manufacturer

Aircraft Manufacturer adalah suatu perusahaan atau industri yang terlibat dalam berbagai aspek perancangan, pembangunan, pengujian, penjualan dan perawatan pesawat terbang. *Aircraft Manufacturer* merupakan suatu industri yang sangat besar. Pemerintah mengeluarkan sertifikat jenis, standar jenis, dan standar pertahanan untuk sebagian besar produksi.

Dalam metode *Aircraft Manufacturer* grafik dari produsen pesawat, data yang diperlukan untuk menentukan nilai ACN pesawat adalah berat kotor pesawat dan jenis *subgrade* yang ada di landasan pacu yang akan dilalui pesawat.

Pada gambar dibawah ini diperlihatkan nilai ACN dengan metode *Aircraft Manufacturer* sebagai contoh, yaitu dari pesawat BOEING 737-800.



Gambar 2. 12 Grafik Perhitungan ACN Pesawat Boeing 737-800

2.6.2 Metode Canadian Department of Transportation

Transport Canada adalah departemen dalam Pemerintah Kanada yang bertanggung jawab untuk mengembangkan peraturan, kebijakan, dan layanan transportasi darat, laut dan udara. *Transport Canada* telah menghitung ACN seluruh jenis pesawat dan telah dipublikasikan, sehingga kita dapat langsung memakai nilai ACN tersebut untuk analisis.

Penentuan ACN metode *Transport Canada* adalah dengan memakai tabel yang diterbitkan oleh *Canadian Department of Transportation* berikut ini:

Tabel 2. 6 Nilai ACN Pesawat dengan Metode *Transport Canada*

<i>Aircraft</i>	<i>Weight Max/Min (kN)</i>	<i>Flexible Pavement Subgrades CBR (%)</i>			
		<i>High (A)</i>	<i>Medium (B)</i>	<i>Low (C)</i>	<i>V. Low (D)</i>
ATR 72 (Aerospatiale)	211	11	12	14	15
	125	6	6	7	8
B737-100	445	23	23	26	30
	260	12	12	14	16
B737-200, 200c, Advanced	572	31	32	37	41
	300	15	15	16	19
B737-300	623	35	37	41	45
	325	16	17	18	21
B737-400	670	38	40	45	49
	350	18	18	20	23
B737-500	596	33	35	39	43
	320	16	16	18	21
B737-600	645	35	36	40	45
	357	18	18	19	22
B737-700	690	38	40	44	49
	370	18	19	20	23
B737-800	777	44	46	51	56
	406	21	21	23	26
B737-900	777	44	46	51	56
	420	21	22	24	28
Cessna 172 (Skyhawk)	11	-	-	-	-
	7	-	-	-	-
Cessna 180 (Skywagon)	13	-	-	-	-
	8	-	-	-	-
Cessna 182 (Skylane)	19	-	-	-	-
	9	-	-	-	-
Cessna 185 (Skywagon)	15	-	-	-	-
	8	-	-	-	-
Cessna 208 (Caravan)	36	-	-	-	-
	18	-	-	-	-
Pipper Archer II, III	12	-	-	-	-
	7	-	-	-	-
Pipper Seneca III, IV	22	-	-	-	-
	14	-	-	-	-
Beech 1900C, 1900D	76	3	4	4	5
	56	2	3	3	4
KC-135 Stratotanker (Boeing)	1342	38	41	49	64
	800	20	21	24	31

Aircraft	Weight Max/Min (kN)	Flexible Pavement Subgrades CBR (%)			
		High (A)	Medium (B)	Low (C)	V. Low (D)
Hecules C130	778	29	34	37	43
	360	12	14	16	17
Hercules L100	693	27	30	33	38
	340	12	14	15	16
Beech King Air 100, 200 Series	56	2	3	3	4
	56	2	3	3	4
Beech King Air 300, 350	67	3	3	4	4
	56	2	3	3	4
Beech King Air 90 Series	49	-	-	-	-
	27	-	-	-	-
Gulfstream III	312	19	20	22	23
	170	9	9	10	12
Gulfstream IV	334	20	22	24	25
	189	10	11	12	13
Gulfstream V	405	26	28	30	31
	215	12	13	14	15

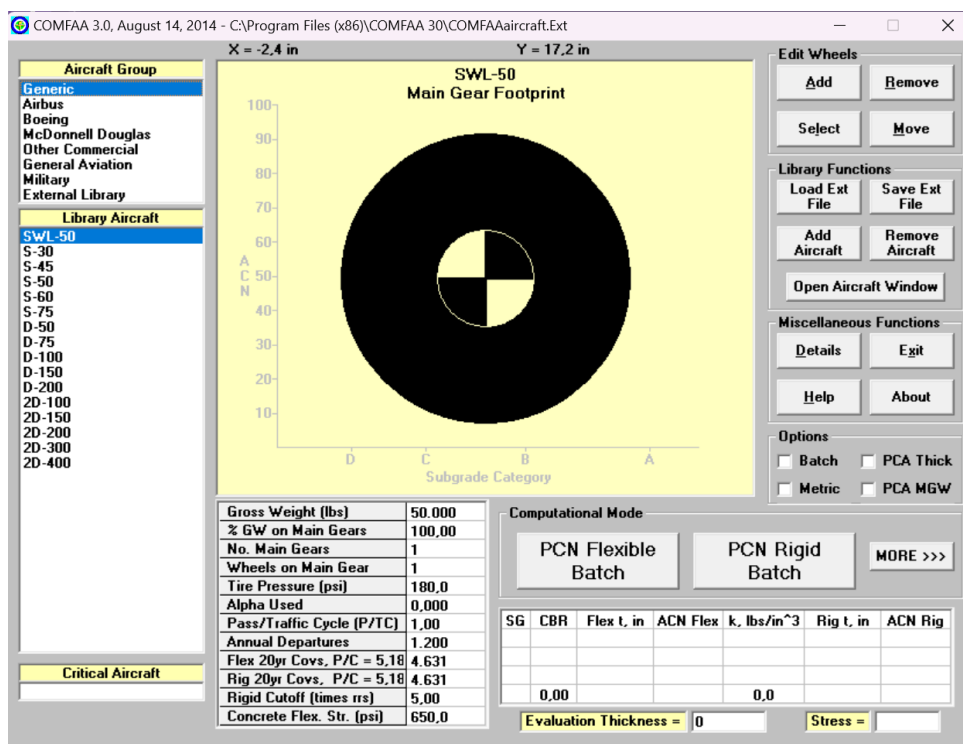
Sumber: FPSRPS (*Transport Canada*, 2004)

2.6.3 Metode COMFAA

Program komputer bernama COMFAA dirancang untuk melakukan perhitungan ACN dan desain perkerasan. Perhitungan yang dilakukan oleh program COMFAA menggunakan konsep *cumulative damage factor* (CDF), yang berarti menghitung efek gabungan dari berbagai pesawat yang beroperasi di bandara. Setelah itu, pesawat kritis melihat dampak dari seluruh lalu lintas gabungan ini. Dengan penyetaraan tersebut, perhitungan PCN dapat secara proporsional mencakup dampak dari semua trafik pesawat udara.

COMFAA memiliki kemampuan untuk menggunakan dua mode perhitungan, yaitu mode perhitungan desain perkerasan (*pavement design mode*) dan mode perhitungan ACN (*ACN computation mode*). Pada mode perhitungan ACN, COMFAA dapat melakukan:

1. Perhitungan ACN pesawat untuk perkerasan lentur;
2. Perhitungan ACN pesawat untuk perkerasan kaku;
3. Perhitungan tebal perkerasan lentur berdasarkan nilai CBR *subgrade* eksisting;
dan
4. Perhitungan tebal perkerasan kaku berdasarkan nilai k (modulus reaksi tanah) dari tanah dasar eksisting.



Gambar 2. 13 Tampilan *Software* COMFAA

Evaluasi perkerasan landasan pacu dapat dilakukan dengan asumsi sebagai berikut:

- Menganalisis kekuatan landasan pacu tanpa memodifikasi struktur perkerasan eksisting atau PCN eksisting.
- Membandingkan nilai ACN eksisting dengan PCN eksisting saat ini.
- Melakukan analisis frekuensi pesawat terbesar yang beroperasi saat ini.
- Melakukan analisis tekanan roda pendaratan terbesar yang beroperasi saat ini.
- Melakukan uji kekesatan terhadap perkerasan.

2.7 Pelapisan Ulang *Runway* (*Overlay*)

Pelapisan ulang (*overlay*) merupakan lapisan perkerasan tambahan yang dipasang di atas struktur perkerasan eksisting dengan tujuan untuk meningkatkan kekuatan struktur perkerasan eksisting sehingga dapat menampung lalu lintas yang diharapkan pada periode yang akan datang. Pelapisan ulang diperlukan jika struktur perkerasan eksisting tidak mampu lagi menopang beban lalu lintas operasi karena berkurangnya kapasitas struktur atau kualitas lapisan perkerasan yang buruk. Pelapisan ulang juga memperbesar faktor keselamatan (yaitu meningkatkan perlawanan terhadap selip dan mengurangi bahaya *hidroplaning*). Berbagai tipe pelapisan ulang didefinisikan sebagai berikut:

a. Pelapisan Ulang

Perkerasan suatu tebal perkerasan lentur atau kaku yang digelar di atas perkerasan yang sudah ada.

b. Pelapisan Ulang Beton Semen Portland

Pelapisan ulang suatu perkerasan dengan menggunakan beton semen portland.

c. Pelapisan Ulang Berbitumen

Pelapisan ulang yang seluruhnya terdiri dari permukaan berbitumen.

d. Pelapisan Ulang Lentur

Pelapisan ulang yang terdiri dari lapis pondasi atas dan lapisan permukaan berbitumen.

Prosedur-prosedur perencanaan pelapisan ulang dikembangkan oleh Corps of Engineers. Prosedur tersebut didasarkan pada hasil dari pengujian skala penuh bersama-sama dengan penelitian perilaku pelapisan ulang dalam kenyataan.

2.7.1 Pelapisan Ulang Tipe Lentur pada Perkerasan Lentur

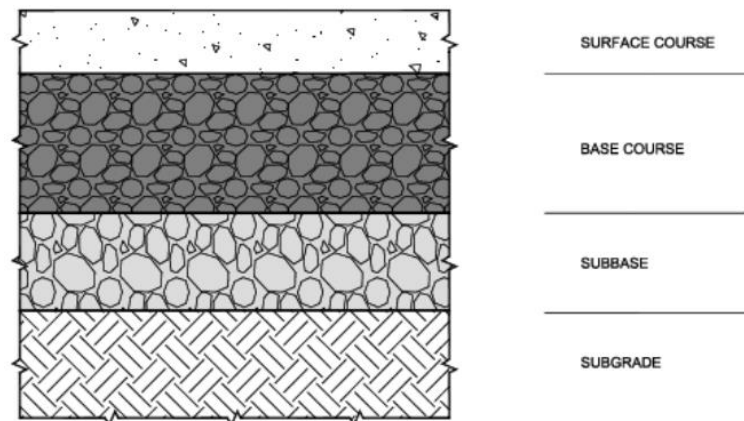
Tebal perkerasan yang diperlukan untuk beban roda yang baru dihitung dengan mengabaikan perkerasan yang ada. Tebal pelapisan ulang lentur adalah selisih antara tebal perkerasan yang ada dan tebal yang dihitung. FAA mengizinkan pengurangan ketebalan pelapisan ulang yang diperlukan berdasarkan kondisi perkerasan yang sudah ada dan sifat bahan yang digunakan untuk pelapisan ulang. Corps of Engineers menganjurkan ketebalan minimum pelapisan ulang 4 inch dan FAA menganjurkan tebal pelapisan ulang minimum untuk menambah kekuatan adalah 3 inch.

2.7.2 Pelapisan Ulang Beton pada Perkerasan Beton Semen Portland

Corps of Engineers maupun FAA, dalam menentukan pelapisan ulang pelat beban memperhatikan nilai tebal pelat pelapisan ulang, tebal pelat yang ada, tebal pelat tunggal ekuivalen yang diletakkan langsung di atas tanah dasar dengan tegangan izin sama seperti untuk pelat pelapisan ulang, dan nilai koefisien dari kondisi perkerasan yang sudah ada. Apabila perkerasan yang sudah ada dalam kondisi yang baik maka nilai koefisiennya 1, apabila perkerasan yang sudah ada mempunyai retak ujung awal akibat beban, tetapi bukan merupakan retak-retak yang progresif nilainya 0,75 dan apabila perkerasan yang sudah ada rusak berat (pelapisan ulang tidak dianjurkan) nilainya sebesar 0,35.

2.7.3 Struktur Perkerasan

Perkerasan bandar udara merupakan suatu analisis struktur kompleks yang mencakup hubungan komponen - komponen penting, yaitu: *subgrade*, material perkerasan (*surface layer, base, and subbase*), dan karakteristik pesawat udara. Perkerasan bandara dirancang dan dibangun untuk menopang muatan pesawat dan menciptakan permukaan yang stabil dan halus, bebas dari puing-puing terkait iklim yang dapat tertiuip atau diserap oleh mesin jet atau baling-baling pesawat. Beberapa metode dapat digunakan dalam desain perkerasan bandara. Hasil yang diperoleh masing-masing metode cenderung berbeda karena peraturan dan kondisi lapangan yang digunakan serta proses pengolahan data masing-masing metode yang berbeda.



Gambar 2. 14 Susunan Lapisan Perkerasan

Dalam Advisory Circular 150/5320-6F terdapat beberapa spesifikasi material yang dapat digunakan untuk setiap masing-masing lapisan perkerasan, baik itu perkerasan lentur (*flexible pavement*) maupun kaku (*rigid pavement*).

Nomenklatur lapisan perkerasan sistem FAA adalah sebagai berikut:

Tabel 2. 7 Nomenklatur Lapisan Perkerasan

Kode	Keterangan
P-501	<i>Portland Cemen Concrete (PCC)</i>
P-401	<i>Plant Mix Bituminious Pavements (HMA)</i>
P-403	<i>Plant Mix Bituminious Pavements (HMA)</i>
P-306	<i>Econocrete Subbase Course (ESC)</i>
P-304	<i>Cement Treared Base Course (CTBC)</i>
P-212	<i>Shell Base Course</i>
P-213	<i>Sand-Clay Base Course</i>

Kode	Keterangan
P-220	<i>Caliche Base Course</i>
P-209	<i>Crushed Aggregate Base Course</i>
P-208	<i>Aggregate Base Course</i>
P-211	<i>Lime Rock Base Course</i>
P-301	<i>Soil-Cement Base Course</i>
P-154	<i>Subbase Course</i>
P-501	<i>Portland Cement Concrete (PCC)</i>

Sumber: KP-93 (Peraturan Dirjen Perhubungan Udara, 2015)

Adapun perbedaan tipe material antara perkerasan lentur dan kaku:

Tabel 2. 8 Penulisan Kode Material Lapisan

<i>Pavement Layer</i>	<i>Flexible Pavement</i>	<i>Rigid Pavement</i>
<i>Surface Course</i>	P-401/P-403	P-501
<i>Stabilized Base Course</i>	P-401/P-403	P-401/P-403
	P-304	P-304
	P-306	P-306
<i>Base Course</i>	P-209	P-209
	P-208	P-208
	P-211	P-211
<i>Subbase Course</i>	P-154	P-154
	P-213	P-301
	P-219	P-219
<i>Subgrade</i>	P-152	P-152
	P-155	P-155
	P-157	P-157
	P-158	P-158

Sumber: *Advisory Circular 150/5320-6F* (Airport Engineering Division, 2016)

Dalam perhitungan PCN, tebal perkerasan yang dianalisa adalah tebal ekuivalen. Langkah perhitungan tebal ekuivalen perkerasan adalah sebagai berikut:

- a. Menentukan Tebal Lapisan Permukaan Aus (*Surface*)

Menentukan tebal minimum lapisan aus (material P-401 dan P-403). Kebutuhan tebal lapisan campuran aspal minimal seperti berikut:

Tabel 2. 9 Tebal Minimum *Surface Course* dan *Base Course*

Bagian Perkerasan	Pesawat <i>Single Wheel</i> dan <i>Dual</i>	Pesawat B747, B777, DC-10, L-101, atau Pesawat Sejenisnya
Area Kritis (Jalur Roda)	4 inch	5 inch
Area diluar Jalur Roda	3 inch	4 inch

Sumber: Advisory Circular 150/5320-6F (Airport Engineering Division, 2016)

b. Menentukan Tebal Minimum *Base Course*

Ketebalan *base course* minimum dihitung menggunakan kurva korelasi antara tebal perkerasan, CBR *subgrade* dan *base course* minimum.

Tabel 2. 10 Tebal Minimum *Base Course*

<i>Design Aircraft</i>	<i>Design Load Range</i>		<i>Minimum Base Course</i>	
	lbs	Kg	inch	mm
<i>Single Wheel</i>	30.000 – 50.000	13.600 – 22.700	4	100
	50.000 – 75.000	22.700 – 34.000	6	150
<i>Dual Wheel</i>	50.000 – 100.000	22.700 – 45.000	6	150
	100.000 – 200.000	45.000 – 90.700	8	200
<i>Dual Tandem</i>	100.000 – 250.000	45.000 – 113.400	6	150
	250.000 – 400.000	113.400 – 181.000	8	200
B757 & B767	200.000 – 400.000	90.700 – 181.000	6	150
DC-10 & L1011	400.000 - 600.000	181.000 – 272.000	8	200
B747	400.000 – 600.000	181.000 – 272.000	6	150
	600.000 – 850.000	272.000 – 385.700	8	200
C130	75.000 – 125.000	34.000 – 56.700	4	100
	125.000 – 175.000	56.700 – 79.400	6	150

Sumber: PKPS Bagian 139-24 (Menteri Perhubungan Indonesia, 2009)

Jika ketebalan lapisan perkerasan lebih besar dari ketebalan minimum, setiap lapisan perkerasan dikonversi dengan faktor konversi. Apabila ketebalan lapisan aspal dan/atau lapisan *base course* kurang dari ketebalan minimum, maka lapisan dasar dikurangi dengan faktor konversi lapisan aspal dan lapisan dasar.

Tabel 2. 11 Faktor Koversi Lapis Perkerasan

Structural Item	Rangen Convert to P-209	Rec. Convert to P-209	Rangen Convert to P-154	Rec. Convert to P-154
P-501	-	-	-	-
P-401	1.2 – 1.6	1.6	1.7 – 2.3	2.3
P-403	1.2 – 1.6	1.6	1.7 – 2.3	2.3
P-306	1.2 – 1.6	1.2	1.6 – 2.3	1.6
P-304	1.2 – 1.6	1.2	1.6 – 2.3	1.6
P-212	-	-	-	-
P-213	-	-	-	-
P-220	-	-	-	-
P-209	1	1	1.2 – 1.6	1.4
P-208	1	1	1.0 -1.5	1.2
P-211	1	1	1.0 -1.5	1.2
P-301	n/a	-	1.0 -1.5	1.2
P-154	n/a	-	1	1
P-501	<i>Range Convert to P-401 2.2 to 2.5, 2.5 Recommended</i>			

Sumber: PKPS Bagian 139-24 (Menteri Perhubungan Indonesia, 2009)

Selain itu, saat menentukan ketebalan lapisan perkerasan harus terlebih dahulu menentukan pesawat rencana, yaitu tingkat dimana beban menghasilkan ketebalan lapisan terbesar, pesawat rencana tidak perlu harus yang terberat. Dalam rancangan lalu lintas, perkerasan harus melayani berbagai jenis pesawat dengan jenis roda pendaratan yang berbeda dan bobot yang berbeda. Tekanan roda pesawat bervariasi dari 75 hingga 200 psi (516 hingga 1.380 KPa) tergantung pada konfigurasi roda dan berat total pesawat. Dampak dari setiap jenis model lalu lintas harus dikonversi ke pesawat rencana dengan *Equivalent Annual Departure* dari pesawat-pesawat tersebut. Untuk pesawat berbadan lebar, beratnya dianggap 30.000 lbs dengan roda pendaratan *dual tandem*, dalam perhitungan *Equivalent Annual Departure*. Tipe roda pendaratan juga berlainan bagi tiap-tiap jenis pesawat maka perlu dikonversikan juga. Dibawah ini diberikan faktor konversinya.

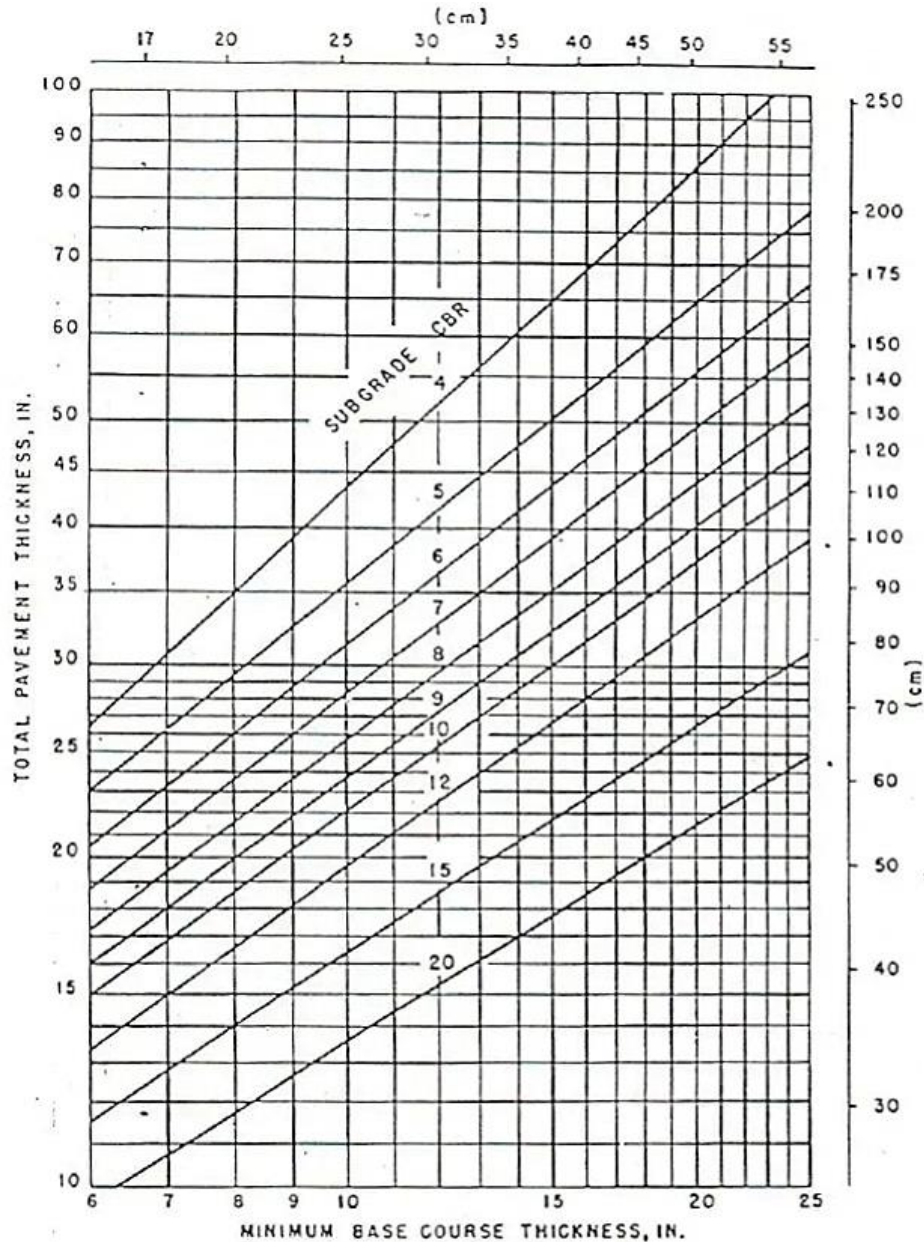
Tabel 2. 12 Faktor Konversi Tipe Roda Pendaratan ke Roda Pesawat Rencana

Konversi dari	ke	Faktor Pengali
<i>Single Wheel</i>	<i>Dual Wheel</i>	0.8
<i>Single Wheel</i>	<i>Dual Tandem</i>	0.5
<i>Dual Wheel</i>	<i>Dual Tandem</i>	0.6
<i>Double Dual Tandem</i>	<i>Dual Tandem</i>	1.0
<i>Dual Tandem</i>	<i>Single Wheel</i>	2.0
<i>Dual Tandem</i>	<i>Dual Wheel</i>	1.7
<i>Dual Wheel</i>	<i>Single Wheel</i>	1.3
<i>Double Dual Tandem</i>	<i>Dual Wheel</i>	1.7

Sumber: Perancangan Bandar Udara (Mahyuddin et al., 2021)

Jenis roda pendaratan menentukan distribusi berat pesawat. Beban pada roda dipindahkan ke perkerasan, yang kemudian menentukan seberapa tebal perkerasan tersebut untuk menopang seluruh bobot pesawat. Ketebalan lapisan ditentukan berdasarkan nilai CBR dari material *subgrade* (tanah dasar) nilai CBR *subbase*, berat total lepas landas pesawat yang direncanakan dan jumlah keberangkatan tahunan pesawat.

Menentukan nilai CBR *subgrade*. Nilai CBR *subgrade* ditentukan oleh pengujian CBR lapangan atau dengan menggunakan data CBR perencanaan yang biasanya menggunakan CBR terendam (CBR *Soaked*). Nilai CBR lapangan tergantung pada jenis tanahnya.



Gambar 2. 15 Kebutuhan Tebal Minimum Lapisan *Base Course*

2.7.4 *California Bearing Ratio (CBR)*

California Bearing Ratio (CBR) adalah uji daya dukung tanah. CBR digunakan sebagai parameter pengukuran kualitas daya dukung tanah dasar pada perencanaan perkerasan. Standar uji CBR digunakan untuk mengevaluasi potensi kekuatan material lapis tanah dasar, pondasi bawah, termasuk material yang didaur ulang untuk perkerasan jalan dan lapangan terbang. Landasan pacu bandara mempunyai struktur perkerasan lentur, perkerasan lentur tersebut didukung sepenuhnya oleh tanah dasar. Terdapat beberapa ketentuan untuk tanah dasar pada bandara, diantaranya:

- a. Uji CBR di laboratorium berdasarkan ASTM D-1883 dan uji lapangan harus dilakukan untuk mengetahui nilai CBR tanah dasar yang akan digunakan dalam perencanaan perkerasan lentur.
- b. Untuk perancangan perkerasan lentur (*flexible*), nilai CBR tanah dasar tidak boleh kurang dari 3%.
- c. Untuk perancangan perkerasan kaku (*rigid*), nilai modulus reaksi tanah dasar tidak boleh kurang dari 13,5 MN/m³.
- d. Nilai CBR yang digunakan untuk keperluan perancangan tidak boleh diambil lebih besar dari 85% nilai CBR laboratorium.

Terdapat 2 cara untuk menentukan nilai CBR, yaitu:

1. Uji CBR Lapangan

Standar ini hanya mensyaratkan penentuan nilai CBR secara langsung di lapangan dengan cara membandingkan tegangan penetrasi lapisan tanah atau material dengan tegangan penetrasi suatu material standar. Metode pengujian ini digunakan untuk mengukur kekuatan struktural tanah dasar, lapis pondasi bawah dan lapis pondasi yang digunakan dalam perencanaan tebal perkerasan.

Data lain yang harus diperoleh pada waktu dan tempat yang sama adalah kadar air dan kepadatan. Tata cara pelaksanaan pengujian sesuai dengan metode pengujian kadar air tanah dengan alat *speedy*, SNI 03-1965.1-2000 dan metode pengujian kepadatan lapangan dengan alat konus pasir, SNI 03-1744-1989.

Jika uji CBR lapangan tidak dapat dilakukan, nilai CBR dapat diperoleh dengan uji CBR laboratorium. Benda uji yang digunakan pada CBR laboratorium merupakan benda uji *undisturbed*. Tata cara pelaksanaan pengujian sesuai dengan metode pengujian laboratorium, SNI 03-1744-1989.

2. Uji CBR Laboratorium

CBR laboratorium adalah rasio beban penetrasi suatu material terhadap material standar dengan kedalaman dan kecepatan penetrasi yang sama. Nilai CBR laboratorium biasanya digunakan untuk perencanaan lapisan perkerasan.

Untuk menentukan nilai CBR laboratorium harus disesuaikan dengan peralatan dan data hasil pengujian kepadatan, yaitu pengujian pemadatan tanah ringan dan uji pemadatan tanah berat.