

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Triwibowo (2014) melakukan perbandingan metode perencanaan perkerasan kaku pada *apron* dengan menggunakan metode *Federal Aviation Administration (FAA)*, PCA, dan LCN pada Bandar Udara Juanda. Berdasarkan hasil analisa dan pembahasan disimpulkan desain tebal struktur perkerasan kaku untuk metode LCN memberikan hasil 44 cm, untuk metode FAA 33,5 cm, dan untuk metode PCA sebesar 32,5 cm.

Mengingat perencanaan tebal perkerasan bandar udara dapat dihitung dengan berbagai metode, oleh Sari *et al.* (2019) perencanaan tebal perkerasan lentur (*flexible pavement*) landas pacu (*runway*) pada Bandar Udara Husein Sastranegara, Bandung dengan menggunakan metode ICAO (ACN-PCN) dan *Software FAARFIELD*, menyatakan bahwa tebal perkerasan landas pacu perlu ditingkatkan baik secara perhitungan grafis ataupun analisis. FAARFIELD mempunyai hasil perhitungan perkerasan yang berbeda jauh dari kedua nilai perkerasan dari metode ACN-PCN. Tebal perkerasan terbesar pada potongan D-D hanya mencapai 33,10 dengan tebal *overlay* yang dibutuhkan hanya sebesar 50,8 mm.

Bethary, Pradana, dan Basidik (2015) menyebutkan bahwa perkerasan pada *runway*, *taxiway*, *apron* pada Bandar Udara Soekarno Hatta dapat dilakukan analisa kekuatannya dengan menggunakan metode ICAO (ACN-PCN) dan menentukan pesawat rencana terbesar yaitu Airbus A-380, disimpulkan bahwa Bandar Udara Soekarno Hatta mampu menahan berat pesawat Airbus A-380, hal ini dapat dilihat dari nilai grafik sebesar 80.000 lbs, sedangkan berat yang dihasilkan sedangkan berat yang dihasilkan oleh pesawat Airbus A-380 sebesar 57.00 lbs.

Mustakim dan Risfadhiah (2018) melakukan analisa dan evaluasi *pavement apron* dengan menggunakan metode FAA pada *apron* Bandar Udara Kalimantan Berau didapat data tebal perkerasan kaku dengan umur rencana 10 tahun sebesar 15 inch (38,10 cm) dan umur rencana 5 tahun sebesar 15 inch (38,10 cm) dengan menggunakan pesawat rencana Airbus A300 dengan jumlah *annual departure* lebih kecil dari 1200.

Seno dan Ahyundari (2015) menggunakan *software* COMFAA untuk evaluasi perbandingan nilai ACN-PCN pada perkerasan *runway*, *taxiway* dan *apron* Bandar Udara Juanda. Hasil *output* dari *software* COMFAA didapatkan nilai ACN lebih besar 7%-50% dari PCN perkerasan kaku pada pesawat B744, B772 dan B773, dan ACN lebih besar 6%-25% dari PCN perkerasan lentur pada pesawat A332, A333, B744, B772 dan B773.

Intari *et al.* (2016) pada Bandar Udara Internasional Husein Sastranegara Bandung memiliki tebal perkerasan eksisting sebesar 100 cm, pesawat rencana Boeing 787-9 memiliki nilai ACN sebesar 87/F/C/X dengan *software* COMFAA didapatkan nilai PCN sebesar 50/F/C/X/T, karena nilai PCN kurang dari ACN maka dilakukan analisis perhitungan ulang dengan metode CBR didapatkan tebal perkerasan sebesar 127 cm.

Sanjaya (2016) dalam *kurva jurnal s mahasiswa* melakukan analisis perbandingan perhitungan tebal perkerasan lentur pada landas pacu Bandar Udara Samarinda Baru dengan menggunakan 3 metode yaitu, metode CBR, LCN, dan FAA. Hasil perhitungan menggunakan metode CBR didapatkan tebal total 66cm dengan *surface* = 15 cm, *base coarse* = 28 cm, *subbase coarse* = 23 cm, sedangkan untuk metode LCN didapatkan tebal total 45 cm dengan tebal *surface* = 11 cm, *base coarse* = 18 cm, *subbase coarse* = 16 cm, dan dengan metode FAA didapatkan tebal perkerasan total 72 cm dengan tebal *surface* = 11 cm, *base coarse* = 33 cm, *subbase coarse* = 28 cm. Dari hasil perhitungan 3 metode tersebut dapat disimpulkan adanya perbedaan hasil tebal total perkerasan, untuk penggunaan pada kondisi eksisting dapat ditentukan dengan mempertimbangkan kebutuhan, prioritas, dan fungsi perkerasan tersebut.

Dengan menggunakan metode *Federal Aviation Administration (FAA)*. untuk menganalisa tebal perkerasan lentur landas pacu Bandar Udara Internasional Lombok (BIL) yang direncanakan untuk dilewati oleh pesawat jenis B 739 dengan menggunakan metode FAA telah didapatkan tebal perkerasan ; 4 inch untuk *surface*, 10,6 inch untuk lapisan *base course*, dan 31,4 inch untuk lapisan *subbase course* (Prana, Dhyani, dan Dhyani, 2018).

Tebal perkerasan lentur (*flexible pavement*) landas pacu (*runway*) Bandar Udara Sultan Mahmud Badaruddin II Palembang, oleh Purwanto dan Sunandar

(2019) didapatkan tebal perkerasan *runway* sebesar 78,04 cm, *taxiway* sebesar 76,23 cm, dan *apron* sebesar 76,48 cm. Feranu *et al.* (2016) mengatakan bahwa evaluasi tebal perkerasan menggunakan software COMFAA dengan pesawat kritis B737-900, tebal perkerasan sebesar 75,7 inci dan CBR sebesar 5,1 % didapatkan seluruh nilai PCN lebih besar dari nilai ACN.

Wahba (2017) mengevaluasi dampak dari pesawat besar di Bandar dengan armada pesawat udara Mesir dan menggunakan perangkat lunak COMFAA, Atas dasar hasil penelitian ini, disimpulkan bahwa, pernyataan dalam ICAO "Jumlah *annual departures* tidak boleh melebihi sekitar 5 persen dari total gerakan pesawat tahunan" harus dievaluasi kembali karena banyak faktor sebagai besar baru jenis pesawat, keberangkatan tahunan dan karakteristik tanah yang pengurangan tinggi dalam kehidupan trotoar yang memiliki rata 8,2% dari rencana desain 20 tahun dan pernyataan dalam ICAO "Nomor klasifikasi pesawat (ACN) tidak melebihi 10 persen di atas nomor klasifikasi perkerasan yang didapatkan (PCN)".

Ahsan dan Hasan (2016) juga mengevaluasi perkerasan landasan pacu menggunakan software COMFAA 3.0 dengan rencana pesawat kritis B777-300ER dan CBR tanah dasar sebesar 7% didapatkan nilai ACN sebesar 89,3 dan PCN sebesar 93,1. Transportasi udara memainkan peran penting dalam pertumbuhan ekonomi di Bangladesh. Bandara Bangladesh saat ini menampung pesawat berbadan lebar seperti Boeing 777, dan diharapkan bahwa operasi pesawat berbadan lebar akan meningkat secara signifikan di masa depan. Dalam rangka untuk mengevaluasi kekuatan trotoar landasan pacu bandara, perangkat lunak COMFAA 3,0 digunakan dalam penelitian ini. Hasilnya menunjukkan bahwa nilai ACN lebih besar dari PCN, hasil penelitian tersebut harus dievaluasi ulang karena ICAO menyebutkan nilai PCN harus lebih besar 10% dari nilai ACN pesawat namun hasilnya memiliki rata-rata 8,2%.

2.2 Landasan Teori

2.2.1. Bandar Udara (*Airport*)

Menurut ICAO *Annex* 14 Tahun 2013, Bandar Udara merupakan wilayah yang berada di darat ataupun air termasuk bangunan, instalasi, dan peralatan yang berfungsi sebagai tempat kedatangan, keberangkatan, dan pergerakan darat pesawat di darat.

Menurut FAA AC 150/5300-23A Tahun 2014, Bandar Udara merupakan suatu wilayah di daratan yang digunakan atau ditujukan sebagai tempat pendaratan dan lepas landas pesawat, termasuk bangunan-bangunan dan fasilitasnya bila tersedia. Pesawat Udara adalah setiap mesin atau alat yang dapat terbang di atmosfer karena gaya angkat reaksi udara, tetapi bukan karena reaksi udara terhadap permukaan bumi yang digunakan untuk penerbangan.

Menurut Peraturan Menteri 56 Tahun 2015, Bandar Udara adalah kawasan yang berada di daratan atau perairan dengan aturan-aturan tertentu yang digunakan untuk 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.

Menurut Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Udara Tahun 2005, Bandar Udara adalah lapangan terbang yang dipergunakan untuk mendarat dan lepas landas pesawat udara, naik turun penumpang, dan / atau bongkar muat kargo dan / atau pos, serta dilengkapi dengan fasilitas keselamatan penerbangan dan sebagai tempat perpindahan antar moda transportasi

2.2.2. Landasan Pacu (*Runway*)

Salah satu fasilitas yang paling penting di bandar udara adalah *runway*, tanpa perencanaan dan pengelolaan *runway* dengan baik pesawat tidak akan dapat menggunakan bandar udara. Menurut ICAO *Annex* 14 Tahun 2013, *Runway* atau landasan pacu adalah sebuah wilayah berbentuk persegi panjang pada permukaan tanah bandar udara yang disiapkan untuk pesawat lepas landas dan mendarat. Panjang minimum yang diperlukan untuk pesawat lepas landas adalah pada kondisi berat lepas landas maksimum, pada permukaan laut, pada onisi, atmosfer, masih

terdapat udara, dan pada kemiringan landas pacu 0 %. Menurut Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Udara Tahun 2005, elemen *runway* di suatu Bandara terdiri dari perkerasan struktur, bahu landasan (*shoulder*), bantal hembusan (*blast pad*), dan daerah aman *runway* (*runway end safety area*).

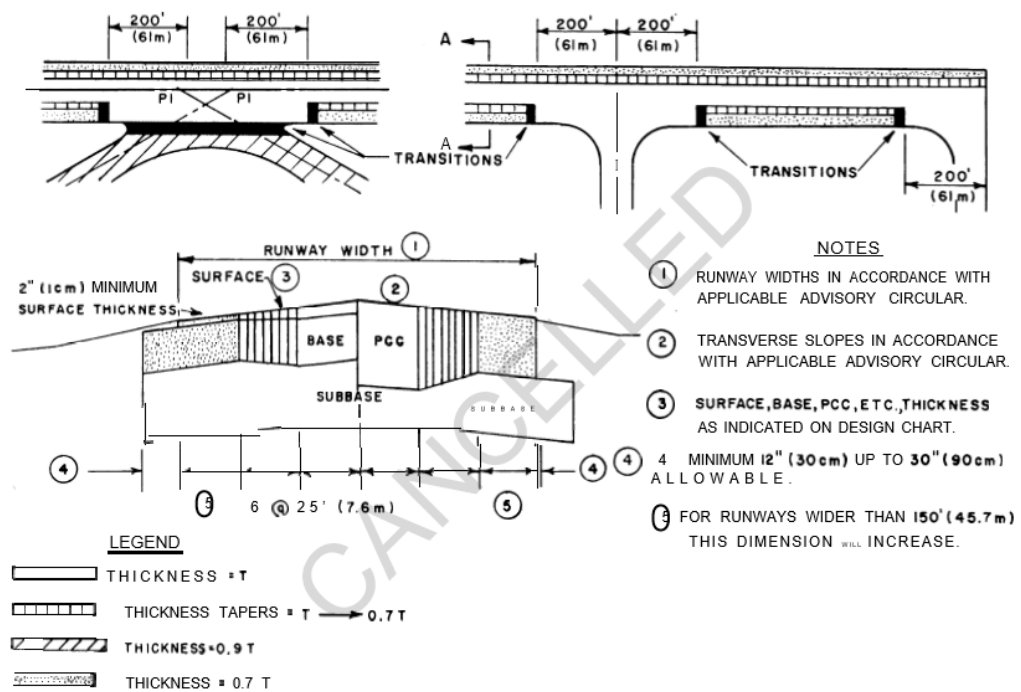
a. Bagian-bagian *runway*

Sartono *et al.* (2016) mengidentifikasi bagian-bagian *runway* sebagai fasilitas yang perlu dilengkapi, bagian-bagian *runway* tersebut adalah sebagai berikut :

- 1) *Runway shoulder*/bahu landas pacu adalah area pembatas pada akhir tepi perkerasan *runway* yang dipersiapkan menahan erosi *jet blast* (hembusan jet) dan berbagai jalur *ground vehicle* (kendaraan darat) untuk pemeliharaan dan keadaan darurat serta untuk penyediaan daerah peralihan antara bagian perkerasan dan *runway strip*.
- 2) RESA (*Runway End Safety Area*). RESA 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 kegiatan *take off* (lepas landas) maupun *landing* (pendaratan).
- 3) *Clearway* 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.
- 4) *Stopway* adalah suatu daerah tertentu yang berbentuk 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.
- 5) *Turning area* adalah bagian dari *runway* yang digunakan untuk pesawat melakukan gerakan memutar, baik untuk membalik arah pesawat, maupun gerakan pesawat saat akan parkir di *apron*.

- 6) *Runway strip* adalah luasan bidang tanah yang diratakan dan dibersihkan tanpa benda-benda yang mengganggu yang dimensinya bergantung pada panjang *runway* dan jenis instrument pendaratan (*precision approach*) yang dilayani.
- 7) *Holding bay* adalah area tertentu yang ditujukan agar pesawat dapat melakukan penantian atau menyalip untuk mendapatkan efisiensi gerakan permukaan pesawat.
- b. Rencana penampang perkerasan *runway*

Menurut FAA (1995) *Runway* bandar udara umumnya dibangun dengan seragam dan sudah direncanakan tipikal *cross section* untuk perkerasan *runway* pada gambar 2.1. Total tebal perkerasan *runway* dapat ditentukan dengan grafik *Adisory Circular* FAA, untuk *surface*, *base course* sudah memiliki syarat spesifikasi minimal.



Gambar 2.1 *Typical Plan And Cross Section For Runway Pavement* (FAA 5320 6D, 1995)

Banyak faktor yang mempengaruhi penentuan lokasi pembangunan *runway*, orientasi, konfigurasi, dan berapa jumlah *runway* yang dibutuhkan pada suatu bandar udara harus memadai sehingga sesuai dengan permintaan lalu lintas udara (*air traffic demand*). Faktor yang paling penting dijelaskan oleh ICAO 9157-AN/901 (2006) :

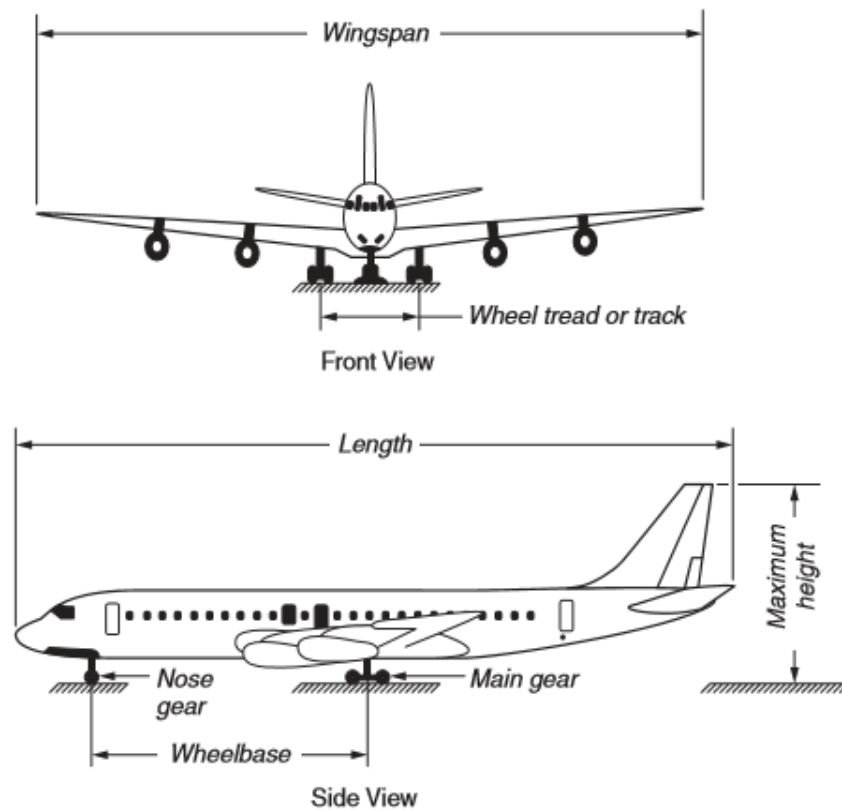
- a. Kondisi cuaca setempat, seperti distribusi angin dan keberadaan kabut.
- b. Topografi bandar udara dan daerah sekelilingnya.
- c. Tipe dan volume lalu lintas udara yang dilayani, termasuk aspek pengaturan lalu lintas udara (*air traffic control*).
- d. Pertimbangan lingkungan, terutama kebisingan.
- e. Pertimbangan performa pesawat yang *landing*.

2.2.3. Karakteristik Pesawat Terbang

a. Dimensi Pesawat Terbang

Menurut Horonjeff (1993) Dimensi pesawat terbang rencana sangat mempengaruhi untuk perencanaan ukuran *apron*, lebar dan panjang runway, juga taxiway yang harus memperhitungkan perkerasannya. Horonjeff (1993) memberi penjelasan dimensi pesawat yang menjadi pertimbangan penggunaan pesawat terbang rencana sebagai berikut:

- a) *Length* (panjang) badan pesawat rencana dari ujung depan badan pesawat (*fuselage*) sampai ujung belakang ekor pesawat (*empennage*) sebagai acuan besar *apron*, *taxiway*, dan *runway*.
- b) *Wingspan* (panjang sayap) pesawat terbang rencana dari ujung sayap ke ujung sayap lainnya pada sayap utama pesawat, digunakan untuk menentukan lebar dan sparsasi (jarak pemisah) *runway* dan *taxiway* di bandar udara.
- c) *Maximum height* (tinggi maksimum) pesawat terbang rencana dari lantai dasar sampai dengan puncak bagian ekor pesawat (*empennage*).
- d) *Wheelbase* pesawat terbang rencana adalah jarak as roda pendaratan utama (*main landing gear*) pesawat dengan as roda depan (*nose gear*), atau roda ekor (*tail-wheel*).
- e) *Wheel track* sebuah pesawat terbang didefinisikan sebagai jarak antara as roda terluar dari landing gear pesawat. Digunakan untuk menetapkan radius putar (*turning radius*) minimum, yang berperan besar untuk berbeloknya pesawat.



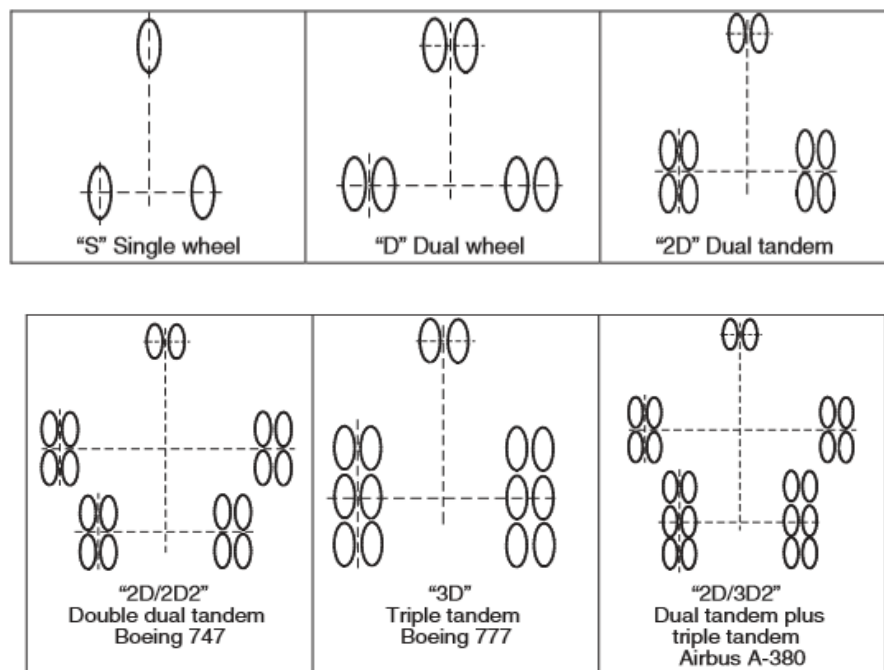
Gambar 2.2 *Aircraft Dimensions*
(Horonjeff, 1993)

Salah satu tantangan besar untuk perencanaan dan desain Bandara adalah menciptakan fasilitas yang mengakomodasi berbagai macam pesawat. Pesawat terbang sangat bervariasi dalam hal dimensi fisik dan karakteristik kinerja mereka, apakah mereka akan dioperasikan untuk layanan udara komersial, kargo, atau kegiatan penerbangan umum. Ada sejumlah besar spesifikasi untuk pesawat yang dapat dikategorikan tergantung pada bagian dari area Bandara, spesifikasi pesawat tertentu menjadi lebih kritis. Sebagai contoh, berat pesawat menjadi sangat penting untuk menentukan ketebalan dan kekuatan landasan pacu, taxiway, dan apron trotoar, dan mempengaruhi lepas landas dan pendaratan persyaratan panjang landasan pacu di Bandara. Lebar sayap dan panjang badan pesawat mempengaruhi ukuran *apron*, *taxiways*, dan *runway*.

b. Konfigurasi Roda Pendaratan Pesawat Terbang

Pesawat yang saat ini beroperasi di Bandara penggunaan sipil di dunia telah dirancang dengan berbagai konfigurasi roda pendaratan. Sebagian besar pesawat dirancang dengan salah satu dari tiga konfigurasi *landing gear* dasar; konfigurasi

roda tunggal, didefinisikan sebagai gigi utama memiliki total dua roda, satu pada setiap penyangga, konfigurasi *dual-wheel*, didefinisikan sebagai gigi utama memiliki total empat roda, dua pada masing-masing penyangga, dan konfigurasi dual-tandem, didefinisikan sebagai dua set roda pada setiap strut. Konfigurasi ini diilustrasikan dalam gambar 2.3.



Gambar 2.3 *Landing Gear Configurations*
(FAA, 2005)

Konfigurasi roda pendaratan memainkan peran penting dalam mendistribusikan berat pesawat terbang yang memiliki dampak signifikan pada desain landasan pacu. Secara khusus, semakin banyak roda pendaratan, maka semakin kecil beban yang didukung oleh landasan pacu tersebut (Horonjeff, 1993). Konfigurasi roda pendaratan pesawat layanan komersial terbesar telah menjadi lebih kompleks adalah pesawat Boeing 747, Boeing 777, dan Airbus A-380.

c. Berat Pesawat Terbang

Konsep berat pesawat sebenarnya relatif kompleks, sebuah pesawat pada kenyataannya akan diukur dengan sejumlah pengukuran berat, tergantung pada tingkat pemuatan dengan bahan bakar, muatan, dan kru, dan ditugaskan nilai berat maksimum yang diijinkan untuk lepas landas (MTOW), pendaratan, dan saat istirahat. Berbagai pengukuran berat pesawat ini penting untuk perencanaan dan

desain Bandara, khususnya fasilitas seperti *runway*, *taxiway*, dan *apron* yang dirancang untuk mendukung pesawat. Kebanyakan pabrik manufaktur akan menetapkan bobot khas pesawat mereka untuk tujuan perencanaan dan desain. Bobot pesawat telah didefinisikan oleh Horonjeff (1993) sebagai berikut.

1) *The Operating Empty Weight (OEW)*

OEW merupakan berat dasar pesawat termasuk kru dan semua perlengkapan yang diperlukan untuk penerbangan tetapi tidak termasuk muatan dan bahan bakar pesawat. OEW dari pesawat dianggap untuk desain pesawat yang dapat menempati hangar pemeliharaan pesawat dan *apron* di bandar udara.

2) *The Zero Fuel Weight (ZFW)*

ZFW adalah OEW dari pesawat ditambah berat muatan. ZFW adalah berat pesawat di mana semua berat tambahan termasuk bahan bakar, sehingga ketika pesawat dalam penerbangan, sayap dan badan pesawat tidak menjadi berlebihan. Muatan struktural maksimum adalah beban maksimum yang mana pesawat disertifikasi untuk dibawa sesuai spesifikasi dari pabrik manufaktur.

3) *The Maximum Ramp Weight*

The Maximum Ramp Weight adalah bobot maksimum yang diizinkan untuk manuver tanah termasuk taksi dan bahan bakar *run-up*.

4) *The Maximum Gross Takeoff Weight (MTOW)*

MTOW adalah bobot maksimum yang diizinkan pada pelepasan rem suatu pesawat untuk lepas landas. Ini tidak termasuk taksi dan bahan bakar *Run-up* dan mencakup berat kosong operasi, perjalanan dan cadangan bahan bakar, dan muatan. Nilai MTOW tiap pesawat sebenarnya bervariasi dengan spesifikasi dari pabrik pesawat yang mempertimbangkan kondisi atmosfer tertentu (yaitu, kepadatan udara, yang merupakan fungsi elevasi lapangan dan suhu udara ambien). Menurut Horonjeff (1993) karakteristik pesawat terbang dapat dibagi beberapa jenis dengan menggunakan nilai MTOW tiap pesawat tersebut. Pembagian jenis-jenis pesawat rencana berdasarkan MTOW dapat dilihat pada gambar 2.4 dan seterusnya.

Tabel 2.1 Karakteristik pesawat komersial turbo dengan nilai MTOW < 100.000

| Turboprop Aircraft | | | | | | | | | |
|--|--------------|----------|----------------------------|----------------------------|-----------------|---|---|--|--|
| Aircraft | Wingspan | Length | MSTOW [†] (lb) | # Engines | Avg. # Seats | Runway Required (ft) [*] | | | |
| Beech 1900c | 54'06" | 57'10" | 16,600 | 2 | 19 | 3,300 | | | |
| Shorts 360 | 74'10" | 70'10" | 27,100 | 2 | 35 | 4,300 | | | |
| Domier 328-100 | 68'10" | 68'08" | 27,557 | 2 | 30 | 3,300 | | | |
| SAAB 340B | 70'04" | 64'09" | 28,500 | 2 | 37 | 4,200 | | | |
| AT-42-300 | 80'06" | 74'05" | 36,815 | 2 | 45 | 3,600 | | | |
| EMB 120 | 64'11" | 65'7" | 26,433 | 2 | 30 | 5,200 | | | |
| Jet Aircraft Less than 100,000 lb MSTOW [†] (Regional Jets) | | | | | | | | | |
| Aircraft | Manufacturer | Wingspan | Length | MSTOW [†] (lb) | # Engines | Avg. # Seats | Runway Required (ft) [*] | | |
| ERJ 135 | Embraer | 65'9" | 86'5" | 41,887 | 2 | 35 | 5,800 | | |
| ERJ 140 | Embraer | 65'9" | 93'4" | 44,313 | 2 | 40 | 6,100 | | |
| ERJ 145 | Embraer | 65'9" | 98'0" | 46,275 | 2 | 50 | 7,500 | | |
| CRJ 200 | Bombardier | 69'7" | 87'10" | 51,000 | 2 | 50 | 5,800 | | |
| CRJ 700 | Bombardier | 76'3" | 106'8" | 72,750 | 2 | 70 | 5,500 | | |
| CRJ 900 | Bombardier | 81'6" | 119'4" | 80,500 | 2 | 90 | 5,800 | | |

Gambar 2.2 Karakteristik pesawat komersial jet dengan nilai MTOW >100.000

| Jet Aircraft Less than 100,000 lb MSTOW [†] (Regional Jets) | | | | | | | | | |
|---|-------------------|----------|---------|----------------------------|----------------|----------------------------|---|-----------------|---|
| Aircraft | Manufacturer | Wingspan | Length | MSTOW [†] (lb) | # Engines | Avg. # Seats | Runway Required (ft) [*] | | |
| BAe-RJ70 | British Aerospace | 86'00" | 78'9" | 89,999 | 2 | 95 | 4,700 | | |
| BAe-RJ85 | British Aerospace | 86'00" | 86'11" | 92,999 | 2 | 110 | 5,400 | | |
| Bae-RJ100 | British Aerospace | 86'00" | 94'10" | 97,499 | 2 | 110 | 6,000 | | |
| Jet Aircraft between 100,000 and 250,000 lb MSTOW [†] (Narrow Body Jets) | | | | | | | | | |
| Aircraft | Manufacturer | Wingspan | Length | Wheel Base | Wheel Track | MSTOW [†] (lb) | # Engines | Avg. # Seats | Runway Required (ft) [*] |
| A-319 | Airbus Industrie | 111'25" | 111'02" | 41'33" | 24'93" | 141,095 | 2 | 140 | 5,800 |
| MD-87 | McDonnell-Douglas | 107'10" | 130'05" | 62'11" | 16'08" | 149,500 | 2 | 135 | 7,600 |
| MD-90-30 | McDonnell-Douglas | 107'10" | 152'07" | 77'02" | 16'08" | 156,000 | 2 | 165 | 6,800 |
| A-320-200 | Airbus Industrie | 111'03" | 123'03" | 41'05" | 24'11" | 158,730 | 2 | 160 | 5,700 |
| B-737-800 | Boeing | 112'06" | 124'11" | 50'09" | 18'8" | 172,445 | 2 | 175 | |
| B-727-200 | Boeing | 108'00" | 153'03" | 63'03" | 18'09" | 184,800 | 3 | 165 | 8,600 |
| B-757-200 | Boeing | 124'10" | 155'03" | 60'00" | 24'00" | 220,000 | 2 | 210 | 5,800 |

Tabel 2.3 Karakteristik pesawat komersial jet dengan nilai MTOW >250.000

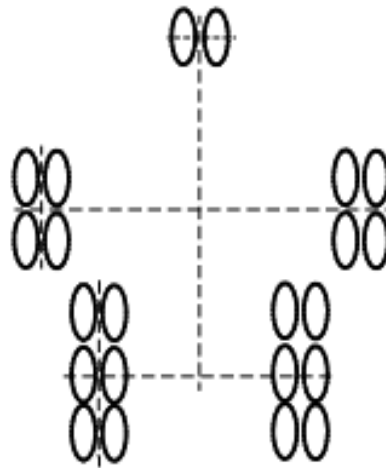
| Jet Aircraft Greater than 250,000 lb MSTOW (Wide Body Jets) | | | | | | | | | |
|---|-------------------|---------|---------|--------|--------|---------|---|-----|-------|
| A310-300 | Airbus Industrie | 144'00" | 153'01" | 49'11" | 31'06" | 330,690 | 2 | 240 | 7,500 |
| B-767-300 | Boeing | 156'01" | 180'03" | 74'08" | 30'06" | 345,000 | 2 | 275 | 8,000 |
| A-300-600 | Airbus Industrie | 147'01" | 175'06" | 61'01" | 31'06" | 363,765 | 2 | 310 | 7,600 |
| L-1011-500 | Lockheed | 164'04" | 164'03" | 61'08" | 36'00" | 510,000 | 3 | 290 | 9,200 |
| B-777-200 | Boeing | 199'11" | 209'01" | 84'11" | 36'00" | 535,000 | 2 | 375 | 8,700 |
| DC-10-40 | McDonnell-Douglas | 165'04" | 182'03" | 72'05" | 35'00" | 555,000 | 3 | 325 | 9,500 |
| A-340-200 | Airbus Industrie | 197'10" | 195'00" | 62'11" | 16'09" | 558,900 | 4 | 320 | 7,600 |
| DC-10-30 | McDonnell-Douglas | 165'04" | 182'03" | 72'05" | 35'00" | 572,000 | 3 | 320 | 9,290 |
| MD-11 | McDonnell-Douglas | 170'06" | 201'04" | 80'09" | 35'00" | 602,500 | 3 | 365 | 9,800 |
| B-747SP | Boeing | 195'08" | 184'09" | 67'04" | 36'01" | 630,000 | 4 | 315 | 7,000 |
| B-747-400 | Boeing | 213'00" | 231'10" | 84'00" | 36'01" | 800,000 | 4 | 535 | 8,800 |

d. Pesawat Rencana

Pesawat terbang yang beroperasi di Bandar Udara Internasional Yogyakarta sangat beragam, dari mulai Airbus sampai Boeing., perbedaan kedua jenis pesawat tersebut adalah sebagai berikut.

1) Airbus

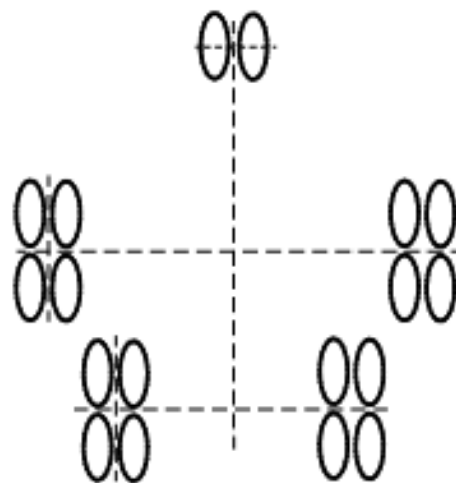
Airbus S.A.S merupakan produsen pesawat komersil yang berada di Prancis yang didirikan pada tahun 2001. Airbus merupakan salah satu produsen penghasil pesawat militer terbesar, perakitan pesawat Airbus dilakukan di Prancis dan Jerman, namun konstruksi pabrik Airbus berada di Eropa. Pesawat Airbus A380 beroperasi di Bandara YIA yang merupakan salah satu pesawat berbadan lebar dengan konfigurasi roda pendaratannya menurut FAA adalah *Two Dual Wheels in Tandem Main Gear/Three Dual Wheels in Tandem Body Gear with Dual wheel Nose*.



Gambar 2.4 Roda pendaratan pesawat Airbus A380

2) Boeing

Boeing didirikan oleh William Boeing pada tahun 1916 yang berada di *Seattle*, Amerika Serikat. Boeing merupakan salah satu produsen pesawat terbesar dunia; juga kontraktor pertahanan terbesar kedua di dunia berdasarkan pendapatan tahun 2015, serta merupakan eksportir pesawat terbesar di Amerika Serikat. Pesawat Boeing 747-400ER beroperasi di Bandara YIA yang merupakan salah satu pesawat berbadan lebar dengan konfigurasi roda pendaratannya menurut FAA adalah *Two Dual Wheels in Tandem Main Gear/Two Dual Wheels in Tandem Body Gear with Dual Wheel Nose Gear*.



Gambar 2.5 Roda pendaratan pesawat Boeing B747-400ER

Pada penelitian ini ditetapkan menggunakan pesawat rencana Boeing 747-400. Boeing 747-400 merupakan sebuah pesawat jet berbadan lebar dibuat oleh *Boeing Commercial Airplanes* yang memiliki tipe roda pendaratan *double dual tandem*, dapat mengangkut hingga 410 penumpang dan memiliki berat lepas landas maksimum terbesar sebesar 877.001,084 lbs (Boeing,2019).

Tabel 2.4. Data Spesifikasi Pesawat Boeing 747-400
(*The Boeing Aircraft Company, 2019*)

| | |
|--------------------------------|--------------------------|
| <i>Seats</i> | 410 seats |
| <i>Overall Length</i> | 70,6 m |
| <i>Wing Span</i> | 64,9 m |
| <i>Height</i> | 19 m |
| <i>Typical Cruise Speed</i> | 908 km/h |
| <i>Maximum Take Off Weight</i> | 877.001,084 lbs |
| <i>Engines</i> | 4 Pratt & Whitney PW4056 |
| <i>Thrust of Engine</i> | 163.300 lbs |
| <i>Maximum Fuel Capacity</i> | 216.840 liters |

2.2.4 *Aircraft Classification Number (ACN)*

ACN adalah nilai yang menyatakan efek *relative* pesawat rencana pada landasan pacu pada kategori tertentu. Nilai ACN berfungsi sebagai parameter design dan evaluasi kekuatan pada perencanaan perkerasan bandar udara. ACN didefinisikan sebagai dua kali penurunan beban roda tunggal, pabrik pesawat telah menyediakan perhitungan resmi nilai ACN, perhitungan ACN membutuhkan informasi terperinci pesawat seperti pusat gravitasi maksimum, berat ramp maksimum, jarak roda, tekanan ban dan faktor lainnya. Nilai ACN tidak diperbolehkan lebih besar dari nilai PCN landasan pacu itu sendiri.

2.2.5 *Pavement Classification Number (PCN)*

PCN adalah standar organisasi penerbangan sipil internasional (ICAO) yang digunakan untuk menunjukkan kekuatan landasan pacu. Menurut FAA AC 150/5335-5, PCN adalah angka yang menyatakan kapasitas kemampuan lapisan perkerasan dalam menopang beban pesawat yang direncanakan. FAA *Advisory Circular* (2014) menyebutkan bahwa nilai PCN dapat membantu memastikan perencanaan perkerasan landasan pacu dan mendapatkan hasil yang sesuai dengan peraturan FAA yang berlaku juga dapat merencanakan tebal perkerasan dengan

umur perkerasan yang ditetapkan. Perkerasan lentur (*flexible pavement*) menurut FAA (2010) dikategorikan menjadi 4:

1. *High Strength* : CBR 15 (nilai CBR diatas 13 %)
2. *Medium Strength* : CBR 10 (nilai CBR antara 8% - 13%)
3. *Low Strength* : CBR 6 (nilai CBR antara 4% - 8%)
4. *Ultra Low Strength* : CBR 3 (nilai CBR dibawah 4%)

2.2.6 *Federal Aviation Administration (FAA)*

Federal Aviation Administration (FAA) adalah sebuah badan pemerintahan Amerika Serikat yang memiliki kewenangan untuk mengatur aspek penerbangan sipil di negara tersebut dan juga melalui perairan internasional di sekitarnya. Kewenangan FAA meliputi pembangunan dan pengoperasian bandar udara, manajemen lalu lintas udara, sertifikasi personil dan pesawat, dan perlindungan asset AS selama penerbangan.

2.2.7 *Metode FAA*

Metode FAA adalah metode yang paling umum digunakan untuk perencanaan perkerasan lentur (*flexible pavement*) lapangan terbang yang dikembangkan oleh Federal Amerika dari pengembangan metode CBR yang sebelumnya. Jenis dan nilai kekuatan tanah dasar (*subgrade*) sangat mempengaruhi analisa perhitungan menggunakan metode FAA. Perencanaan tebal perkerasan menggunakan metode FAA didasarkan pada grafik-grafik yang dirancang oleh FAA, langkah-langkah dalam menentukan tebal perkerasan lentur (*flexible pavement*) antara lain:

- a. Mencari data pesawat, pertumbuhan, dan pergerakan pesawat yang beroperasi (*Annual Departure*) di bandar udara tersebut.

$$\text{Rumus : } \quad \text{Log } R_1 = \text{Log } R_2 \times \left(\frac{W_2}{W_1}\right)^{1/2} \quad (2.1)$$

$$R_2 = \text{annual departures} \times \text{faktor pengali} \quad (2.2)$$

$$W_2 = 0,95 \times \text{MTOW} \times \left(\frac{1}{n}\right) \quad (2.3)$$

$$W_1 = 0,95 \times \text{MTOW} \text{ pesawat rencana} \times \left(\frac{1}{n}\right) \quad (2.4)$$

dengan : $R_1 = \text{Equivalent Annual Departure Rencana}$

- R_2 = *Equivalent Annual Departure*, jumlah *annual departure* dari semua pesawat yang dikonversikan ke pesawat rencana sesuai tipe roda pendaratannya
- W_1 = Beban roda dari pesawat rencana
- W_2 = Beban roda dari pesawat yang ditanyakan
- MTOW = Maximum Take Off Weight adalah beban maksimum pada awal lepas landas sesuai dengan bobot pesawat.
- $\frac{1}{n}$ = Faktor konversi sesuai tipe roda pesawat

- b. Menentukan pesawat rencana : dapat digunakan pesawat beban yang paling besar (MTOW).
- c. Menentukan nilai CBR *subgrade* dan *subbase course*, dapat digunakan data eksisting lapangan.
- d. Menentukan tipe roda pendaratan pesawat.

2.2.8 Software COMFAA 3.0

COMFAA 3.0 merupakan aplikasi *software* yang dikeluarkan oleh *Federal Aviation Administration* (FAA) yang dapat digunakan untuk mengevaluasi kekuatan perkerasan lentur/kaku sebuah bandar udara dengan data tebal perkerasan yang sudah direncanakan sebelumnya. *Software* COMFAA 3.0 dapat *dirunning* dengan cara memasukan data lalu lintas pesawat rencana, ketebalah perkerasan rencana, dan memasukan nilai ACN-PCN.

COMFAA berisi data internal pesawat yang mencakup sebagian pesawat komersial dan militer AS yang saat ini beroperasi, data internal pesawat disediakan langsung oleh produsen pesawat. Karakteristik standar pesawat pada data internal mewakili kondisi standar ICAO untuk perhitungan ACN. Data eksternal pesawat yang ada pada COMFAA dapat diubah karakteristiknya, yang memungkinkan pengguna untuk memodifikasi pesawat (*Federal Aviation Administration*, 2014).