

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Bandar Udara Internasional Jenderal Ahmad Yani Semarang memiliki peran penting dalam mendukung mobilitas udara di Jawa Tengah. Meningkatnya aktivitas penerbangan menuntut ketersediaan fasilitas sisi udara yang memadai, terutama apron sebagai area parkir pesawat dan pelayanan darat. Oleh karena itu, bab ini memuat teori penunjang dan penelitian terdahulu yang relevan sebagai dasar dalam penelitian pengembangan area apron dan perencanaan struktur perkerasan kaku.

A. Teori Penunjang

1. Perencanaan

Perencanaan merupakan proses yang disusun secara sistematis untuk menentukan langkah pelaksanaan pekerjaan. Tahapan ini krusial untuk memastikan seluruh aktivitas terealisasi dengan memenuhi standar kualitas, tenggat waktu, maupun estimasi biaya yang sudah diproyeksikan. (Sunatha dkk., 2024). Dalam bidang rekayasa, perencanaan menjadi langkah fundamental yang sangat penting karena difungsikan untuk memformulasikan keperluan proyek dan menentukan variabel teknis. Hal tersebut sekaligus memandu jalannya pelaksanaan sehingga hasil akhirnya selaras dengan sasaran rancangan awal (Sunatha dkk., 2024).

Dalam penelitian ini, perencanaan dipahami sebagai penyusunan langkah teknis untuk menentukan kebutuhan pengembangan apron, menghitung jumlah kebutuhan parkir pesawat pada tahun rencana, menetapkan dimensi area pengembangan, dan merancang struktur perkerasan kaku berdasarkan data operasional bandar udara serta parameter desain yang digunakan (Suryan dkk., 2023).

2. Bandar Udara

Secara definisi, bandar udara merupakan suatu wilayah berbatas di daratan maupun perairan yang difungsikan secara khusus guna mengakomodasi

aktivitas pendaratan serta lepas landas armada pesawat. Area ini sekaligus menjadi titik sentral bagi pelayanan sirkulasi penumpang, penanganan bongkar muat barang, hingga fasilitas integrasi untuk perpindahan antarmoda transportasi. Lebih lanjut, berdasarkan pedoman dalam Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2009 tentang Penerbangan, infrastruktur ini diklasifikasikan sebagai komponen esensial dalam tata kelola kedirgantaraan yang ditujukan untuk menjamin terpenuhinya standar keselamatan, perlindungan keamanan, serta efisiensi operasional penerbangan (Republik Indonesia, 2009).

Secara tinjauan teknis, operasional bandar udara bukan sekadar titik simpul layanan penerbangan, melainkan sebuah sistem terpadu yang mengintegrasikan infrastruktur sisi udara beserta sisi darat (Ngape dkk., 2021). Bagian dari fasilitas sisi udara tersebut mencakup runway, taxiway, apron, dan fasilitas operasional lain yang berhubungan langsung dengan pergerakan pesawat. Penelitian ini memfokuskan pembahasan pada fasilitas sisi udara, khususnya apron, karena area tersebut menjadi objek utama dalam analisis pengembangan dan perencanaan struktur perkerasan kaku.



Gambar II. 1 *Layout* Bandar Udara Internasional Jenderal Ahmad Yani
(Sumber: *Manual Book Bandar Udara Jenderal Ahmad Yani Semarang*)

3. Fasilitas Sisi Udara

Fasilitas sisi udara (*airside*) merupakan zona krusial yang difungsikan untuk mengakomodasi seluruh rangkaian pergerakan penerbangan, mulai dari fase

tinggal landas, pendaratan, pergerakan di area operasional, hingga parkir pesawat dan layanan *ground handling* (Ngape dkk., 2021).

Secara umum, menurut Safitri & Rahimudin (2022) klasifikasi infrastruktur pada area sisi udara mencakup landas pacu (runway), landas hubung (taxiway), apron, beserta ragam sarana pendukung lainnya. Secara teknis, runway dialokasikan sebagai lintasan sentral dalam pelaksanaan pendaratan maupun keberangkatan. Selanjutnya, mobilitas pergerakan pesawat yang menghubungkan lintasan tersebut dengan area parkir difasilitasi melalui jalur taxiway. Adapun apron dikhususkan sebagai area yang digunakan untuk parkir pesawat serta pelaksanaan berbagai kegiatan pelayanan darat.

Kinerja fasilitas sisi udara berpengaruh langsung terhadap keselamatan, efisiensi, dan kapasitas operasional bandar udara. Oleh sebab itu, perencanaan fasilitas sisi udara harus disesuaikan dengan karakteristik pesawat yang dilayani dan proyeksi kebutuhan operasional pada masa mendatang (Sari dkk., 2021). Sari dkk. (2021) menegaskan bahwa pemenuhan standar pada fasilitas sisi udara sangat berpengaruh terhadap keselamatan dan efektivitas operasional penerbangan, sedangkan Happy & Oley (2024) menunjukkan bahwa perencanaan fasilitas sisi udara harus disesuaikan dengan karakteristik pesawat rencana dan kebutuhan pengembangan bandar udara.

4. Apron

Apron adalah kawasan di bandar udara yang diperuntukkan untuk kegiatan naik turunnya penumpang, penanganan kargo logistik, suplai avtur, parkir pesawat, dan prosedur perawatan teknis pesawat tingkat ringan (Safitri & Rahimudin, 2022). Mengingat krusialnya peruntukan tersebut, area ini melampaui fungsi dasar sekadar lokasi pemberhentian armada, melainkan bertindak selaku pusat aktivitas darat yang berdampak signifikan terhadap ritme operasional penerbangan. Oleh karena itu, apron harus direncanakan agar mampu menampung kebutuhan *parking stand* dan mendukung operasional pesawat secara aman dan efisien.

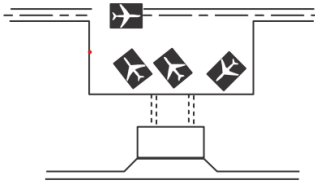
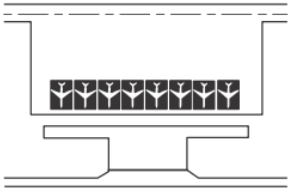
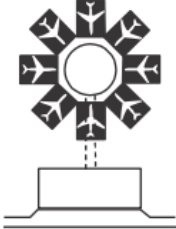
Beberapa penelitian menunjukkan bahwa peningkatan pergerakan pesawat berpengaruh langsung terhadap kebutuhan pengembangan apron. Januari dkk. (2021) menyatakan bahwa kapasitas apron perlu dievaluasi berdasarkan pergerakan pesawat tahun rencana, sedangkan Dwinata & Rivai (2022) menegaskan bahwa peningkatan pergerakan pesawat yang tidak diimbangi kecukupan apron menuntut perluasan area dan perencanaan perkerasan yang sesuai. Sejalan dengan itu, Widyawati dkk. (2024) menjelaskan bahwa ketika jumlah penerbangan pada jam puncak melebihi kapasitas apron eksisting, maka solusi mitigasi yang dapat diimplementasikan adalah mengekspansi area parki pesawat melalui pengembangan apron. Berdasarkan uraian tersebut, dalam penelitian ini apron dipahami sebagai fasilitas sisi udara yang perlu dianalisis kapasitasnya dan direncanakan struktur perkerasannya agar mampu mendukung kebutuhan operasional pada tahun rencana dan mendukung pengembangan aktivitas operasional di Bandar Udara Internasional Jenderal Ahmad Yani Semarang.

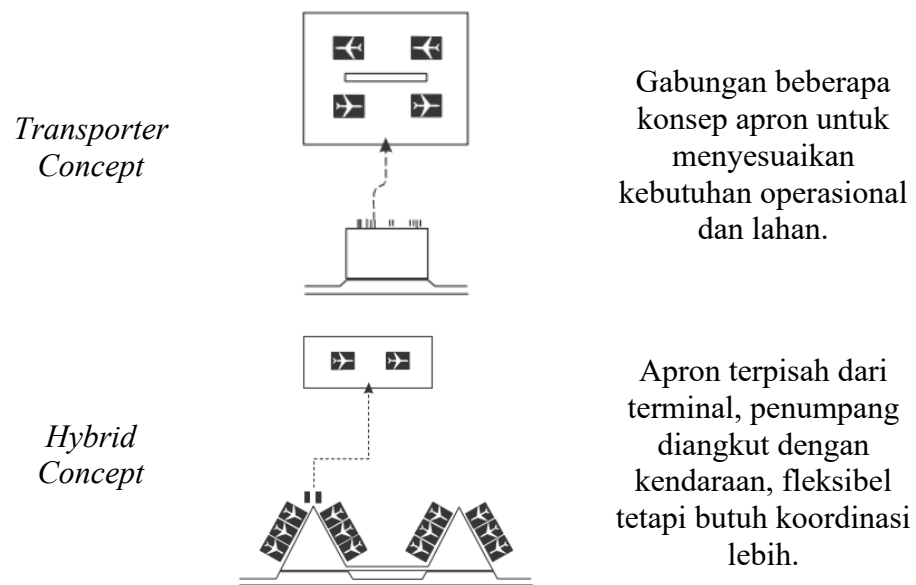
a. Konsep Apron

Konsep apron mengacu pada tata letak area apron di bandar udara yang dirancang untuk mendukung kegiatan pelayanan darat secara aman dan efisien (Kirana dkk., 2022). Dalam perencanaannya, apron harus memperhatikan hubungan dengan terminal, kelancaran manuver pesawat, kebutuhan ruang parkir, serta kemungkinan pengembangan pada masa mendatang. Oleh karena itu, Berdasarkan Keputusan Direktur Jenderal Perhubungan Udara Nomor SKEP/77/VI/2005 tentang Persyaratan Teknis Pengoperasian Fasilitas Teknik Bandar Udara, pemilihan konsep apron perlu disesuaikan dengan karakteristik pergerakan pesawat, pola pelayanan terminal, dan ketersediaan lahan di bandar udara (DJPU, 2005b).

Secara umum, konsep apron dijelaskan lebih lanjut dalam *Airport Planning Manual Doc 9184-AN/902 Part 1: Master Planning*, yang menjelaskan beberapa bentuk umum apron yang dapat diterapkan sesuai

dengan karakteristik lalu lintas pesawat, kebutuhan *parking stand*, tata letak terminal, serta ketersediaan ruang di bandar udara (ICAO, 2023). Pemilihan bentuk apron tersebut perlu disesuaikan dengan kebutuhan operasional agar mampu mendukung kelancaran pergerakan pesawat dan pelayanan di sisi udara (Kirana dkk., 2022). Menurut ICAO (2023) beberapa konsep apron dijelaskan dalam tabel berikut.

Tabel II. 1 Konsep Apron		
Konsep Apron	Gambar Konsep	Fungsi
<i>Simple Concept</i>		Apron sejajar terminal, cocok untuk pergerakan rendah hingga menengah, dan mudah dikembangkan bertahap.
<i>Linear Concept</i>		<i>Parking stand</i> memanjang mengikuti terminal, efisien untuk pelayanan, tetapi perlu sirkulasi yang baik.
<i>Pier/Finger Concept</i>		<i>Parking stand</i> berada di kedua sisi <i>pier</i> , kapasitas meningkat, tetapi butuh ruang manuver yang cukup.
<i>Satellite Concept</i>		Parkir pesawat mengelilingi bangunan satelit, kapasitas besar, tetapi akses dan pengembangannya kurang fleksibel.



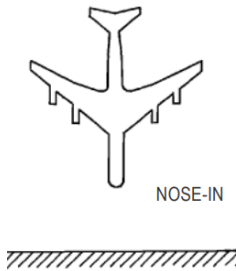
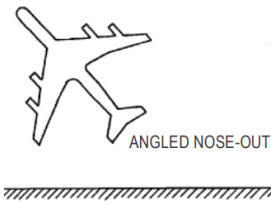
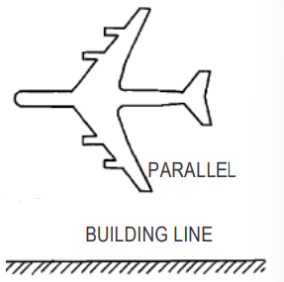
(Sumber: *Airport Planning Manual Doc 9184-AN/902 Part 1: Master Planning, Third Edition, 2023, chapter 2.3.1*)

b. Konfigurasi Parkir Pesawat Udara

Konfigurasi parkir pesawat udara merupakan pola penempatan pesawat pada *parking stand* di apron yang ditentukan berdasarkan tata letak apron, karakteristik pesawat, dan kebutuhan operasional bandar udara. Konfigurasi ini berpengaruh terhadap efisiensi penggunaan ruang, kelancaran manuver pesawat, kebutuhan *pushback*, serta keteraturan operasional di apron. Oleh karena itu, pemilihan konfigurasi parkir menjadi salah satu pertimbangan penting dalam perencanaan pengembangan apron. ICAO menjelaskan bahwa konfigurasi parkir pesawat harus disesuaikan dengan hubungan apron terhadap terminal, pola pergerakan pesawat, dan kebutuhan ruang operasional di sisi udara (ICAO, 2023). Selain itu, pengaturan posisi parkir yang tepat juga berpengaruh terhadap efisiensi penggunaan *stand*, terutama pada kondisi operasional puncak (Yesicatama & Widagdo, 2025).

Tipe konfigurasi parkir pesawat udara dijelaskan lebih lanjut dalam *Airport Planning Manual Doc 9184-AN/902 Part 1: Master Planning*, yang memuat empat bentuk utama konfigurasi parkir pesawat, yaitu *nose-in*, *angled nose-in*, *angled nose-out*, dan *parallel* (ICAO, 2023).

Tabel II. 2 Konfigurasi Parkir Pesawat

Konfigurasi Parkir	Gambar Konfigurasi	Fungsi
<i>Nose-in</i>		Hidung Pesawat menghadap terminal, pelayanan lebih mudah, tetapi umumnya memerlukan pushback saat keluar.
<i>Angled Nose-in</i>		Hidung Pesawat mengarah ke terminal dengan sudut tertentu, penggunaan ruang lebih efisien, tetapi tetap membutuhkan ruang manuver yang cukup
<i>Angled Nose-out</i>		Hidung Pesawat menjauhi terminal dengan sudut tertentu, memudahkan keluar dari stand, tetapi memerlukan pengaturan area operasional yang lebih cermat.
<i>Parallel</i>		Hidung Pesawat sejajar dengan terminal, pelayanan cukup fleksibel, tetapi membutuhkan ruang apron yang lebih memanjang.

(Sumber: *Airport Planning Manual Doc 9184-AN/902 Part 1: Master Planning, Third Edition, 2023, chapter 2.2.3*)

c. Konfigurasi Parkir Pesawat Udara

Konfigurasi parkir pesawat udara merupakan pola penempatan pesawat pada *parking stand* di apron yang ditentukan berdasarkan tata letak apron, karakteristik pesawat, dan kebutuhan operasional bandar udara. Konfigurasi ini berpengaruh terhadap efisiensi penggunaan ruang,

kelancaran manuver pesawat, kebutuhan *pushback*, serta keteraturan operasional di apron. Oleh karena itu, pemilihan konfigurasi parkir menjadi salah satu pertimbangan penting dalam perencanaan pengembangan apron. ICAO menjelaskan bahwa konfigurasi parkir pesawat harus disesuaikan dengan hubungan apron terhadap terminal, pola pergerakan pesawat, dan kebutuhan ruang operasional di sisi udara (ICAO, 2023). Selain itu, pengaturan posisi parkir yang tepat juga berpengaruh terhadap efisiensi penggunaan *stand*, terutama pada kondisi operasional puncak (Yesicatama & Widagdo, 2025).

d. Penentuan Jarak Bebas Antar Ujung Sayap Pesawat (*Wingtip Clearance*)

Jarak bebas antar ujung sayap pesawat (*wingtip clearance*) merupakan jarak minimum yang harus tersedia antara ujung sayap pesawat dengan pesawat lain atau objek tetap di apron ketika pesawat melakukan manuver masuk, parkir, maupun keluar dari *parking stand*. Dalam perencanaan apron, parameter ini sangat penting karena berpengaruh langsung terhadap keselamatan operasional, kapasitas *parking stand*, dan efisiensi pemanfaatan ruang apron.

ICAO melalui Annex 14 Volume I menetapkan bahwa *clearance minimum* pada *aircraft stand* ditentukan berdasarkan *code letter* pesawat dengan kemungkinan pengurangan terbatas pada kondisi tertentu sesuai hasil kajian keselamatan (ICAO, 2022). Ketentuan tersebut bertujuan agar tata letak *parking stand* memiliki pemisahan aman sehingga risiko benturan antarpesawat di apron dapat diminimalkan. Dengan demikian, penentuan *wingtip clearance* dalam penelitian ini diposisikan melampaui sekadar persyaratan keselamatan, melainkan turut menjadi dasar penting dalam menghitung kebutuhan ruang dan menyusun tata letak area pengembangan infrastruktur apron di Bandar Udara Internasional Jenderal Ahmad Yani Semarang. Berikut jarak minimum pada *parking stand* berdasarkan *code letter*.

Tabel II. 3 Jarak Bebas Antar Ujung Sayap Pesawat Udara

Code Letter	Clearance
A	3 m
B	3 m
C	4,5 m
D	7,5 m
E	7,5 m
F	7,5 m

(Sumber: Annex 14, Aerodrome, Chapter 3.13.7, Ninth Edition, July 2022)

Selain itu, KP 39 Tahun 2015 juga memberikan acuan mengenai jarak pemisah minimum berdasarkan kode sayap pesawat sebagai dasar dalam penataan ruang aman pada apron (DJPU, 2015). Acuan tersebut digunakan dalam evaluasi maupun penyusunan layout apron agar jarak antarobjek di area operasional tetap memenuhi aspek keselamatan.

Tabel II. 4 Jarak Pemisah (*Separation Distances*)

<i>Code Letter</i> untuk pesawat udara (ICAO)	Dari Garis tengah apron ke objek (A)	Dari garis tengah aircraft parking <i>position</i> <i>taxilane</i> ke objek (B)	Dari ujung sayap pesawat udara pada aircraft parking <i>position</i> ke objek (C)	Jarak Bersih Hidung Pesawat Ke Gedung (E)
A	16,25 m	12 m	3 m	9 m
B	21,5 m	16,5 m	3 m	6 m
C	26 m	24,5 m	4,5 m	6 m
D	40,5 m	36 m	7,5 m	4,5 m
E	47,5 m	42 m	7,5 m	4,5 m
F	57,5 m	50,5 m	7,5 m	4,5 m

* Jarak Pemisah Minimum Adalah 10 m, ini diperuntukkan jika menggunakan parkir bebas (*free moving*)

(Sumber: KP 39 Tahun 2015)

e. Penentuan Jarak Bebas Antar Ujung Sayap Pesawat (*Wingtip Clearance*)

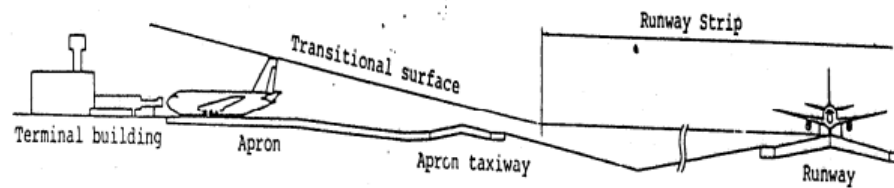
Jarak bebas antar ujung sayap pesawat (*wingtip clearance*) merupakan jarak minimum yang harus tersedia antara ujung sayap pesawat dengan pesawat lain atau objek tetap di apron ketika pesawat melakukan manuver masuk, parkir, maupun keluar dari *parking stand*. Dalam perencanaan apron, parameter ini sangat penting karena berpengaruh langsung terhadap keselamatan operasional, kapasitas *parking stand*, dan efisiensi pemanfaatan ruang apron.

f. Dimensi Apron

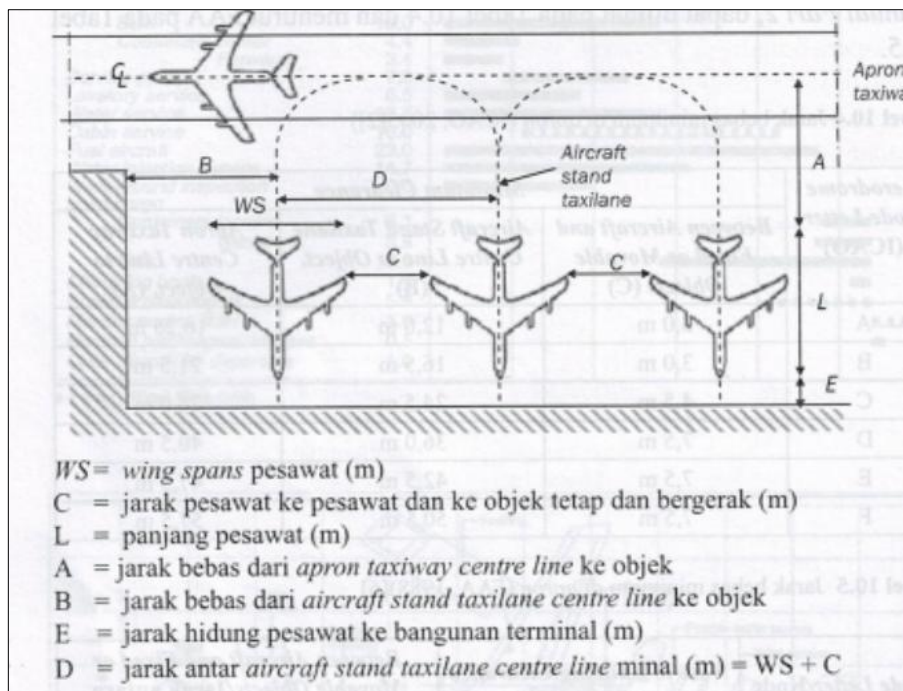
Dimensi apron merupakan ukuran ruang yang dibutuhkan untuk menampung pesawat pada posisi parkir sekaligus mendukung manuver dan pelayanan darat secara aman dan efisien. Penentuan dimensi apron didasarkan pada kebutuhan operasional pada kondisi puncak, jumlah *parking stand*, karakteristik pesawat rencana, konfigurasi parkir, dan jarak aman antarpesawat. Hakiki & Oemar (2025) menunjukkan bahwa kebutuhan luasan apron pada tahun rencana dapat ditentukan dari jumlah *parking stand* yang dibutuhkan, sedangkan Januari dkk. (2021) menjelaskan bahwa kebutuhan *parking stand* dapat dihitung berdasarkan indikator *Rmonth*, *Rday*, dan *Rhour* pada jam puncak. Dimensi apron dalam penelitian ini dipahami sebagai hasil perencanaan ruang operasional yang ditetapkan berdasarkan kebutuhan *parking stand* hasil *forecasting* dan persyaratan keselamatan, sehingga area pengembangan apron dapat mendukung operasional pesawat secara aman dan efektif.

Dalam penelitian ini, perhitungan dimensi apron mengacu pada Keputusan Direktur Jenderal Perhubungan Udara Nomor SKEP/77/VI/2005 tentang Persyaratan Teknis Pengoperasian Fasilitas Teknik Bandar Udara, yang menekankan bahwa apron harus dirancang sesuai kebutuhan operasional, keleluasaan manuver, efisiensi, dan ruang pengembangan (DJPU, 2005a). Sejalan dengan itu, Lalan dkk. (2021) menjelaskan bahwa dimensi apron ditentukan dari hasil *forecasting*, *peak*

hour movement, dan kebutuhan *gate position* atau *parking stand* pada tahun rencana. Dengan demikian, dimensi apron dalam penelitian ini ditetapkan berdasarkan kebutuhan operasional 10 tahun mendatang yang diterjemahkan dari kebutuhan *parking stand*, karakteristik pesawat rencana, dan persyaratan keselamatan.



Gambar II. 2 Penampang Samping Apron
(Sumber: SKEP/77/VI/2005)



Gambar II. 3 Dimensi Apron
(Sumber: SKEP/77/VI/2005)

Tabel II. 5 Dimensi Apron

Uraian	Penggolongan pesawat					
	I	II	III	IV	V	VI
1. Dimensi untuk satu pesawat						
a. Slef taxing (45° taxiing)						
o Panjang (m)	40	40	70	70-85	70-85	70-85
o Lebar (m)	25	25	55	55-80	55-80	55-80
b. Nose in						
o Panjang (m)	-	-	95	190	190	190
o Lebar (m)	-	-	45	70	70	70
c. Clereance antar pesawat dengan pesawat di Apron (m)	3	3	4,5	4,5	4,5	4,5
2. Slope/Kemiringan						
a. Ditempat Pesawat Parkir, Maksimum	1 ≤	1 ≤	1 ≤	1 ≤	1 ≤	1 ≤
b. Didaerah Pemuatan Bahan Bakar Pesawat	+ 1/2	+ 1/2	+ 1/2	+ 1/2	+ 1/2	+ 1/2

(Sumber: SKEP/77/VI/2005)

5. Metode Peramalan (*forecasting*) Pergerakan Pesawat

Metode peramalan (*forecasting*) merupakan pendekatan kuantitatif yang digunakan untuk memprediksi nilai pada masa mendatang berdasarkan data historis yang tersedia (Sari dkk., 2023). Peramalan (*forecasting*) pergerakan pesawat merupakan metode kuantitatif yang digunakan untuk memperkirakan jumlah pergerakan pesawat pada periode rencana berdasarkan data historis (Niradan dkk., 2025). Dalam penelitian pengembangan apron, hasil *forecasting* digunakan sebagai dasar untuk menentukan kebutuhan kapasitas apron, jumlah *parking stand*, dan dimensi area pengembangan. Januari dkk. (2021) menunjukkan bahwa pergerakan pesawat tahun rencana dapat diproyeksikan menggunakan regresi linear sederhana, sedangkan Lalan dkk. (2021) juga menggunakan *forecasting* untuk menentukan kebutuhan *gate position*, *parking stand*, dan luasan apron.

Menurut Mahyuddin dkk. (2021) dalam perencanaan bandar udara periode 10 tahun termasuk peramalan jangka menengah. Pemilihan horizon ini dinilai lebih sesuai untuk mendukung perencanaan pengembangan fasilitas, karena periode yang lebih pendek cenderung kurang memadai untuk dasar pengembangan fisik, sedangkan periode yang lebih panjang memiliki tingkat ketelitian yang cenderung lebih rendah. Dengan demikian, dalam penelitian

ini *forecasting* digunakan untuk memperkirakan pergerakan pesawat selama 10 tahun mendatang sebagai dasar penentuan kebutuhan pengembangan apron dan perencanaan struktur perkerasan kaku di Bandar Udara Internasional Jenderal Ahmad Yani Semarang.

Regresi linier sederhana merupakan teknik statistik yang digunakan untuk melihat hubungan antara satu variabel bebas dan satu variabel terikat serta membentuk model prediksi (Yuniar dkk., 2024). Metode regresi linier digunakan untuk menggambarkan tren pertumbuhan pergerakan pesawat berdasarkan data historis dan memproyeksikannya pada tahun rencana. Dalam penelitian ini, variabel bebas berupa waktu yaitu tahun pergerakan dan variabel terikat berupa jumlah pergerakan pesawat. Januari dkk. (2021) menunjukkan bahwa regresi linier dapat digunakan untuk memperkirakan pergerakan pesawat sebagai dasar analisis kebutuhan apron. Dengan demikian, pada penelitian ini regresi linier digunakan untuk membentuk persamaan tren pergerakan pesawat pada periode rencana.

6. Metode Perhitungan Jam Puncak

Perhitungan jam puncak (*peak hour*) digunakan untuk menggambarkan kondisi operasional tertinggi yang harus dilayani apron, karena kebutuhan kapasitas fasilitas sisi udara lebih ditentukan oleh kondisi puncak daripada nilai rata-rata pergerakan (Mahyuddin dkk., 2021). Dalam perencanaan pengembangan apron, pendekatan ini dilakukan melalui penentuan rasio R_{month} , R_{day} , dan R_{hour} untuk memperoleh pergerakan pada bulan, hari, dan jam puncak tahun rencana. Hasil pergerakan tahun rencana kemudian digunakan untuk memperoleh nilai N_{month} , N_{day} , dan N_{hour} , di mana nilai N_{hour} menjadi dasar dalam menentukan kebutuhan kapasitas apron (Januari dkk., 2021). Dengan demikian, dalam penelitian ini perhitungan jam puncak digunakan untuk menentukan kebutuhan operasional maksimum yang menjadi dasar dalam penentuan kebutuhan *parking stand* dan pengembangan apron di Bandar Udara Internasional Jenderal Ahmad Yani Semarang.

Berdasarkan perumusan Pignataro dan Cantili, penjelasan mengenai masing-masing rasio yang digunakan dalam perhitungan waktu sibuk diuraikan dibawah ini (Mahyuddin dkk., 2021).

a. Rasio Bulan puncak (*Peak Month Ratio*)

Rasio bulan puncak (*peak month ratio*) adalah rasio untuk mengetahui pergerakan pesawat udara bulan tersibuk (*peak month movement*).

b. Rasio Hari Puncak (*Peak Day Ratio*)

Rasio hari puncak (*peak day ratio*) merupakan koefisien rasio yang difungsikan untuk mengetahui total pergerakan pesawat udara pada saat kondisi operasional harian mencapai titik terpadat (*peak day movement*).

c. Rasio Jam Puncak (*Peak Hour Ratio*)

Rasio jam puncak (*peak hour ratio*) adalah rasio yang difungsikan guna mengetahui kepadatan pergerakan pada periode satu jam paling sibuk (*peak hour movement*).

Guna memproyeksikan pergerakan pesawat di tahun rencana saat periode jam tersibuk (*peak hour*), kalkulasi diselesaikan melalui kombinasi antara hasil *forecasting* dengan rasio puncak. Secara prinsip, jumlah pergerakan pada jam sibuk pada tahun rencana didapatkan melalui perkalian antara volume pergerakan di hari tersibuk pada tahun rencana dengan nilai rasionya, dimana R_{hour} adalah *peak hour ratio* yang menunjukkan mempersentasekan tingkat konsentrasi pergerakan pada satu jam tersibuk terhadap pola pergerakan pada hari puncak.

7. Perhitungan Kebutuhan Jumlah *Parking Stand* Pesawat Udara

Perhitungan kebutuhan jumlah *parking stand* dilakukan untuk menentukan jumlah posisi parkir yang harus disediakan agar apron mampu melayani pergerakan pesawat pada kondisi operasional puncak (Ngape dkk., 2021). Dalam kajian pengembangan apron, kebutuhan *parking stand* tidak ditetapkan berdasarkan rata-rata pergerakan tahunan, tetapi berdasarkan

kondisi *peak hour*, karena pada periode tersebut permintaan parkir pesawat mencapai tingkat tertinggi.

Penelitian yang dilakukan Januari dkk. (2021) menunjukkan bahwa hasil *forecasting* pergerakan pesawat dan nilai *Nhour* dapat digunakan untuk menentukan jumlah pesawat yang menggunakan apron pada tahun rencana sebagai dasar peningkatan kapasitas apron. Sejalan dengan itu, Lalan dkk. (2021) menggunakan *forecasting peak hour movement* untuk menentukan kebutuhan *gate position* dan dimensi apron, sedangkan Hakiki & Oemar (2025) menegaskan bahwa kebutuhan luasan apron pada tahun rencana diturunkan dari jumlah *parking stand* yang dibutuhkan pada kondisi puncak. Dengan demikian, dalam penelitian ini kebutuhan jumlah *parking stand* dipahami sebagai hasil analisis pergerakan pesawat pada jam puncak tahun rencana yang digunakan sebagai dasar penentuan kebutuhan pengembangan apron di Bandar Udara Internasional Jenderal Ahmad Yani Semarang.

8. Penentuan Beban Pesawat Kritis

Dalam perencanaan perkerasan bandar udara, pesawat kritis ditetapkan sebagai pesawat yang memberikan pembebanan paling besar terhadap struktur perkerasan, sehingga menjadi acuan dalam penentuan tebal perkerasan (Kinasih dkk., 2025). FAA dalam *Advisory Circular AC 150/5320-6G* menjelaskan bahwa perencanaan perkerasan dipengaruhi oleh berat pesawat (*gross weight*), konfigurasi roda pendaratan (*landing gear configuration*), tekanan ban (*tire pressure*), dan jumlah keberangkatan tahunan (*annual departure*). Pesawat yang memiliki kontribusi pembebanan paling dominan ditetapkan sebagai pesawat kritis dalam perencanaan struktur perkerasan apron (FAA, 2021). Penentuan pesawat kritis dilakukan dengan cara sebagai berikut:

Tabel II. 6 Contoh Menentukan Pesawat Kritis

Aircraft	Gear Type	Averages Annual Departure	Maximum Take-Off Weight (kg)
B 747-200	D Dual Tandem	1.200	379.203
B 777-200	3 Dual in Tandem	1.200	298.010
DC-8	Dual Tandem	1.200	162.386

(Sumber: FAA AC 150/5320-6G Airport Pavement Design and Evaluation, Chapter 3.12.6, July 2021)

Penentuan pesawat kritis dalam perencanaan perkerasan apron tidak hanya didasarkan pada nilai *maximum take-off weight* (MTOW), tetapi juga mempertimbangkan konfigurasi roda pendaratan, distribusi beban roda, dan intensitas operasi pesawat. Federal Aviation Administration melalui *Advisory Circular AC 150/5320-6G* menjelaskan bahwa desain perkerasan bandar udara dipengaruhi oleh besar beban pesawat, volume lalu lintas, serta tipe dan geometri *landing gear*. Pada banyak kasus, desain perkerasan dikendalikan oleh pesawat yang paling menuntut dalam *traffic mix*. FAA (2021) juga menyatakan bahwa untuk *generic aircraft*, pembebanan umumnya didistribusikan sebesar 95% pada *main landing gear* dan 5% pada *nose gear*. Evaluasi awal pesawat kritis lebih tepat diarahkan pada beban yang diteruskan melalui roda pendaratan utama, bukan hanya berdasarkan MTOW.

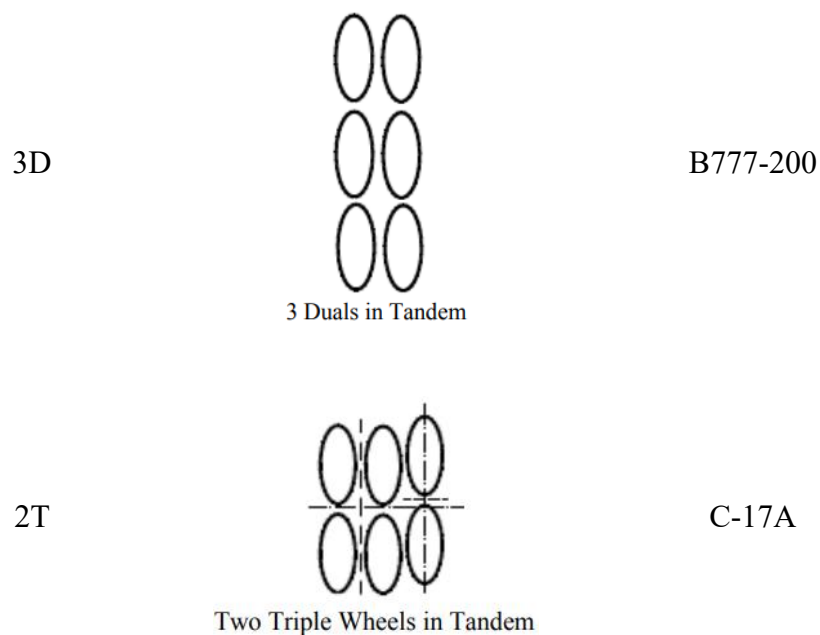
Berdasarkan prinsip tersebut, kandidat pesawat kritis dapat diidentifikasi dengan membandingkan beban per roda utama. Secara sederhana, nilai tersebut diperoleh dari 95% MTOW yang dibagi dengan jumlah roda pada *main landing gear*. Pendekatan ini digunakan untuk menyeleksi pesawat yang berpotensi memberikan tuntutan pembebanan paling besar terhadap perkerasan, sebelum diverifikasi lebih lanjut melalui analisis desain perkerasan.

Sejalan dengan hal tersebut, Niradan dkk. (2025) menempatkan pesawat yang paling membebani sebagai dasar dalam perencanaan tebal perkerasan

apron, sedangkan Nasrah dkk. (2023) menggunakan pesawat rencana sebagai acuan utama dalam analisis struktur perkerasan apron. Dengan demikian, pesawat yang memiliki beban per roda utama paling besar dapat ditetapkan sebagai kandidat pesawat kritis dan dijadikan dasar dalam perencanaan struktur perkerasan kaku pada area pengembangan apron. Berdasarkan uraian tersebut, disajikan tabel konfigurasi roda pendaratan beberapa jenis pesawat udara dan persamaan perhitungan beban roda pendaratan utama yang mengacu pada FAA AC 150/5320-6G *Airport Pavement Design and Evaluation*.

Tabel II. 7 Konfigurasi Roda Pendaratan Pesawat

Gear Designation	Gear Designation	Airplane Example
S	 Single	Sngl Whl-45
D	 Dual	B737-100
2S	 2 Singles in Tandem	C-130
2D	 2 Duals in Tandem	B7767-200



(Sumber: FAA AC 150/5320-6G Airport Pavement Design and Evaluation)

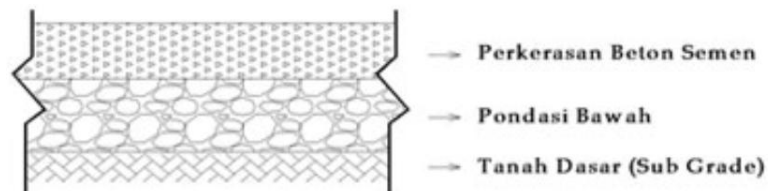
9. Perkerasan Kaku

Perkerasan kaku merupakan jenis perkerasan yang menggunakan pelat beton semen sebagai elemen struktural utama untuk menahan dan menyebarkan beban ke lapisan di bawahnya (Apituley dkk., 2025). FAA menjelaskan bahwa pada perkerasan kaku, ketahanan utama terhadap beban diberikan oleh lapisan beton permukaan, sedangkan struktur umumnya terdiri atas lapisan beton, *subbase*, dan *subgrade* (FAA, 2021). Dengan karakteristik tersebut, perkerasan kaku digunakan pada fasilitas bandar udara yang menuntut dukungan struktural tinggi terhadap beban pesawat.

Dalam konteks apron, perencanaan perkerasan kaku harus mempertimbangkan karakteristik beban pesawat, volume lalu lintas, serta kekuatan tanah dasar agar struktur yang dirancang mampu melayani operasional secara aman selama umur rencana. Dwinata & Rivai (2022) menunjukkan bahwa pengembangan apron perlu diikuti dengan perencanaan perkerasan yang sesuai dengan kebutuhan operasional pesawat, sedangkan Nasrah dkk. (2023) menegaskan bahwa metode FAA digunakan untuk menentukan tebal struktur perkerasan apron berdasarkan pesawat rencana.

Dengan demikian, dalam penelitian ini perkerasan kaku dipahami sebagai struktur perkerasan yang direncanakan untuk mendukung operasional pesawat pada area pengembangan apron Bandar Udara Internasional Jenderal Ahmad Yani Semarang.

Mengacu pada *Advisory Circular FAA AC 150/5320-6G* tentang *Airport Pavement Design and Evaluation*, struktur perkerasan kaku bandar udara terdiri atas beberapa lapisan utama. Susunan lapisan tersebut ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar II. 4 Struktur Perkerasan Kaku
(Sumber: *Advisory Circular AC No:150/5320-6G* tentang *Airport Pavement Design and Evaluation*)

a. Tanah Dasar (*Subgrade*)

Tanah dasar (*subgrade*) merupakan lapisan tanah yang terletak paling bawah yang difungsikan sebagai tumpuan bagi konstruksi perkerasan sekaligus menahan beban dari lapisan di atasnya (Harwanto dkk., 2021). Dalam perencanaan perkerasan bandar udara, kondisi *subgrade* sangat penting karena memengaruhi kebutuhan tebal perkerasan. Sebagai implikasinya, *subgrade* dituntut untuk menyediakan kapasitas dukung yang memadai agar struktur perkerasan kaku apron dapat bekerja secara aman dan stabil.

b. Lapisan Pondasi Bawah (*Subbase*)

Lapisan pondasi bawah (*subbase course*) merupakan lapisan yang berada di antara tanah dasar dan lapisan di atasnya untuk memberikan dukungan yang lebih merata pada struktur perkerasan (Anas, 2021). Pada perkerasan kaku bandar udara, *subbase* berfungsi meningkatkan

kestabilan, membantu distribusi beban, dan mengurangi potensi masalah struktural akibat kondisi tanah dasar yang kurang seragam (FAA, 2021). Oleh karena itu, keberadaan *subbase* penting agar perkerasan kaku apron dapat bekerja lebih stabil dalam menerima pembebanan pesawat

Menurut spesifikasi *Advisory Circular 150/5320-6G*, material yang umum digunakan untuk lapisan pondasi bawah pada perkerasan kaku bandar udara adalah P-154 *Subbase Course* dengan ketebalan minimum sekitar 4 inci (± 100 mm). Lapisan ini berfungsi meningkatkan dukungan terhadap pelat beton serta membantu menjaga kestabilan struktur perkerasan. Pada kondisi tertentu, ketebalan atau mutu material *subbase* dapat ditingkatkan untuk memperoleh daya dukung yang lebih baik sesuai kebutuhan desain perkerasan (FAA, 2021). Berdasarkan ketentuan tersebut, beberapa jenis material *subbase* yang direkomendasikan antara lain sebagai berikut:

- 1) P-154: *Selected Subbase*
- 2) P-208: *Aggregate Base Course*
- 3) P-209: *Crushed Aggregate Base Course*
- 4) P-201: *Lime Rock Base Course*
- 5) P-304: *Cement Treated Base Course*
- 6) P-306: *Econocrete Subbase Course*
- 7) P-401: *Plant Mix Bituminous Pavement*

Pada perkerasan kaku yang akan digunakan oleh pesawat udara dengan berat 100.000 lb, lapisan pondasi bawah perlu distabilisasi. Berikut adalah jenis-jenis stabilisasi lapisan pondasi bawah:

- 1) P-304: *Cement Treated Base*
- 2) P-306: *Econocrete*
- 3) P-401: *Asphaltic Concrete (Plant Mix Bituminous Pavement)*

c. Lapisan Permukaan (*Surface*)

Lapis teratas pada struktur perkerasan kaku bandar udara umumnya berupa pelat beton semen yang berfungsi sebagai elemen utama pemikul beban. FAA menjelaskan bahwa pada perkerasan kaku ketahanan utama terhadap beban diberikan oleh lapisan beton permukaan, yang umumnya menggunakan *cement concrete pavement* FAA P-501 (FAA, 2021). Dalam konteks apron, lapisan ini harus mampu menerima beban pesawat, manuver berulang, serta pengaruh operasional di sisi udara. Sejalan dengan itu, Dwinata & Rivai (2022) serta Nasrah dkk. (2023) menunjukkan bahwa perencanaan perkerasan apron dengan metode FAA menggunakan pelat beton sebagai lapisan utama karena dinilai mampu mendukung pembebanan pesawat secara aman dan stabil. Dalam perencanaan dimensi slab beton, variabel utama yang menjadi penentu adalah nilai kuat lentur beton (*modulus of rupture*), yaitu kemampuan pelat beton menahan tegangan tarik akibat beban pesawat sebagai dasar penentuan ketebalan perkerasan (Gunawan & Darmadi, 2023).

10. Perencanaan Perkerasan Kaku

Perencanaan perkerasan kaku pada area apron dilakukan untuk memastikan bahwa struktur perkerasan memiliki kapasitas yang memadai dalam mendukung operasional pesawat pada area pengembangan. Pada perkerasan kaku, pelat beton dipilih karena mampu menyebarkan beban roda pesawat secara lebih merata dan memiliki ketahanan struktural yang baik terhadap pembebanan berulang (Nasrah dkk., 2023).

FAA menegaskan bahwa desain perkerasan bandar udara dipengaruhi oleh karakteristik beban pesawat, volume lalu lintas, kekuatan tanah dasar, dan mutu material, sehingga struktur yang direncanakan harus mampu melayani operasional secara aman selama umur rencana (FAA, 2021). Dengan demikian, dalam penelitian ini perencanaan perkerasan kaku dilakukan berdasarkan volume pergerakan pesawat, jumlah keberangkatan tahunan

(*annual departure*), berat maksimum pesawat udara rencana, tipe dan konfigurasi roda pendaratan, dan mutu beton.

Volume pergerakan pesawat udara dan jumlah keberangkatan tahunan menggambarkan tingkat lalu lintas serta frekuensi pembebanan berulang yang diterima perkerasan selama umur rencana. Suryan dkk. (2023) menjelaskan bahwa perencanaan perkerasan bandar udara dengan FAARFIELD memerlukan data pesawat rencana, jumlah keberangkatan tahunan, daya dukung tanah dasar, dan mutu beton sebagai parameter desain. Berat maksimum pesawat udara rencana serta konfigurasi roda pendaratan menentukan besarnya beban dan pola distribusinya pada permukaan perkerasan. Widiyanto dkk. (2023) menunjukkan bahwa perubahan *annual departure*, nilai CBR *subgrade*, dan modulus lapisan dapat memengaruhi umur layan perkerasan bandar udara. Selain itu, Utari dkk. (2022) menegaskan bahwa perencanaan apron perlu memperhatikan tebal perkerasan kaku, lapis pondasi, tanah dasar, serta tegangan pada beton dan tanah. Dengan demikian, volume pergerakan pesawat, *annual departure*, berat pesawat, konfigurasi roda, kondisi tanah dasar, dan mutu beton perlu diperhitungkan dalam penentuan tebal perkerasan kaku.

Perencanaan tebal perkerasan kaku bandar udara dapat dilakukan dengan metode FAA sebagaimana dijelaskan dalam *Advisory Circular AC 150/5320-6G Airport Pavement Design and Evaluation*. Pada pedoman ini, desain perkerasan mempertimbangkan lalu lintas pesawat, jumlah keberangkatan tahunan, beban pesawat, konfigurasi roda pendaratan, kekuatan tanah dasar, dan mutu material. Untuk perkerasan baru, umur rencana umumnya ditetapkan 20 tahun. Adapun data dan parameter yang diperlukan dalam perencanaan perkerasan kaku antara lain sebagai berikut:

a. *California Bearing Ratio (CBR)*

Parameter *California Bearing Ratio (CBR)* digunakan untuk menunjukkan kapasitas dukung lapisan tanah dasar terhadap beban dari struktur (Harwanto dkk., 2021). Dalam perencanaan perkerasan bandar

udara, kondisi tanah dasar memengaruhi kebutuhan tebal perkerasan. Pada metode FAA, dukungan tanah dasar dinyatakan dengan *modulus of subgrade reaction* (k-value), sehingga nilai CBR digunakan sebagai dasar untuk memperkirakan parameter tersebut dalam perencanaan perkerasan kaku (FAA, 2021).

- b. Berat Maksimum Lepas Landas / *Maximum Take-Off Weight* (MTOW)
Maximum take-off weight (MTOW) merujuk pada batas berat tertinggi dari pesawat udara yang diperbolehkan ketika melakukan proses *take-off* berdasarkan batasan struktural dan operasional (Chandra dkk., 2024). Dalam perencanaan perkerasan bandar udara, MTOW digunakan untuk menunjukkan beban maksimum yang diteruskan ke perkerasan melalui roda pendaratan.
- c. *Equivalent Annual departure* (EAD)
Equivalent Annual Departures (EAD) merupakan kalkulasi total frekuensi *take-off* tiap tahun secara ekuivalen guna menyetarakan campuran lalu lintas berbagai pesawat menjadi jumlah keberangkatan setara terhadap pesawat kritis (Niradan dkk., 2025) . Setelah pesawat kritis ditetapkan, seluruh operasi pesawat lain dikonversi ke pesawat kritis melalui faktor konversi roda pendaratan, sehingga keberangkatan tahunan masing-masing pesawat dapat digabungkan menjadi total keberangkatan ekuivalen pesawat rencana.

Tabel II. 8 Konversi Tipe Roda Pendaratan

Konversi dari	Konversi ke	Faktor Pengali Keberangkatan
<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>	1,00
<i>Dual Tandem</i>	<i>Single Wheel</i>	2,00

<i>Dual Tandem</i>	<i>Dual Wheel</i>	1,70
<i>Dual Wheel</i>	<i>Single Wheel</i>	1,30
<i>Double Dual Tandem</i>	<i>Dual Wheel</i>	1,70

(Sumber: RSNi Standar Perencanaan Perkerasan Kaku Sisi Udara Bandar Udara)

11. *Pavement Classification Number (PCN)*

Pavement Classification Number (PCN) merupakan representasi numerik yang menunjukkan kemampuan perkerasan bandar udara dalam melayani operasi pesawat, sehingga kelayakan operasi dinilai dengan membandingkan nilai *Aircraft Classification Number (ACN)* pesawat terhadap nilai PCN perkerasan. Dalam praktiknya, evaluasi PCN dapat dilakukan melalui pengujian lendutan di lapangan atau melalui analisis berbasis perangkat lunak seperti COMFAA. Alimin dkk. (2024) menunjukkan bahwa analisis ACN-PCN dengan COMFAA dapat digunakan untuk menilai kemampuan perkerasan kaku terhadap pesawat kritis, sedangkan Utari dkk. (2022) menggunakan evaluasi PCN/ACN untuk menilai kecukupan kekuatan perkerasan apron. Dengan demikian, PCN dalam penelitian ini dipahami sebagai parameter evaluasi kekuatan perkerasan apron terhadap pesawat rencana (FAA, 2014). Berdasarkan ketentuan pelaporan kekuatan perkerasan, faktor-faktor dalam penentuan atau pelaporan nilai PCN adalah sebagai berikut (ICAO, 2022):

a. Tipe Perkerasan

Tipe perkerasan pada bandar udara terbagi kedalam dua klasifikasi dasar, yakni struktur perkerasan kaku (*rigid pavement*) dan struktur perkerasan lentur (*flexible pavement*). Hal ini tertera pada Tabel II.9.

Tabel II. 9 Kode Konstruksi Tipe Perkerasan

Tipe Perkerasan	Kode
Perkerasan Rigid	R
Perkerasan Flexible	F

(Sumber: Annex 14, Aerodromes, Volume I Aerodrome Design and Operations, Ninth Edition, July 2022)

b. Daya Dukung Tanah (*Subgrade*)

Daya dukung tanah dasar merupakan kemampuan tanah guna mendukung beban yang diteruskan oleh struktur perkerasan di atasnya. Parameter ini penting dalam penentuan kekuatan perkerasan bandara karena memengaruhi tebal lapisan perkerasan dan nilai PCN. Menurut FAA (2014) klasifikasi daya dukung tanah dasar dibedakan berdasarkan jenis perkerasan. Pada perkerasan lentur digunakan nilai *California Bearing Ratio* (CBR), sedangkan pada perkerasan kaku digunakan *k-value* atau *modulus of subgrade reaction*.

Pada perkerasan lentur, nilai CBR digunakan untuk menunjukkan tingkat kekuatan tanah dasar. Klasifikasi kekuatan daya dukung tanah berdasarkan CBR yang tertera pada Tabel II.10.

Tabel II. 10 Kode Kekuatan Daya Dukung Tanah Perkerasan Lentur

Strenght	CBR	Kode
Tinggi	13%	A
Menengah	8%-13%	B
Rendah	4%-8%	C
Sangat Rendah	4%	D

(Sumber: Annex 14, Aerodromes, Volume I Aerodrome Design and Operations, Ninth Edition, July 2022, chapter 2.6.6)

Untuk perkerasan kaku, klasifikasi *subgrade* tidak didasarkan pada CBR, tetapi menggunakan *k-value*. Nilai *k-value* menggambarkan reaksi dukungan tanah dasar terhadap pelat beton. Parameter ini lebih sesuai untuk perkerasan kaku karena pelat beton bekerja sebagai elemen

struktural utama yang membutuhkan dukungan merata dari lapisan di bawahnya (FAA, 2014).

Tabel II. 11 Kode Kekuatan Daya Dukung Tanah Perkerasan Kaku

Subgrade Strength Category	Subgrade Support k-Value pci (MN/m ³)	Represents pci (MN/m ³)	Code Designation
High	552,6 (150)	$k \geq 442$ (≥ 120)	A
Medium	294,7(80)	$221 < k < 442$ ($60 < k < 120$)	B
Low	147,4 (40)	$92 < k \leq 221$ ($25 < k \leq 60$)	C
Ultra Low	73,7 (20)	$k \leq 92$ (≤ 25)	D

(Sumber: 150/5335-5C Standardized Method of Reporting Airport Pavement Strength - PCN)

c. Tekanan Maksimum Roda Pesawat

Tekanan roda pesawat (*tire pressure*) dalam sistem perhitungan PCN berpengaruh pada besarnya tegangan kontak roda terhadap permukaan perkerasan. Tekanan roda pesawat dikelompokkan ke dalam empat kategori dan digunakan untuk memastikan bahwa evaluasi kekuatan perkerasan mempertimbangkan variasi tekanan ban pesawat yang beroperasi. Keempat kategori tekanan ban tersebut disajikan pada tabel berikut.

Tabel II. 12 Kode Tekanan Roda Pesawat

Tekanan	Kode
Tinggi, tidak ada batasan tekanan	W
Menengah, tekanan dibatasi sampai 1,40 MPa	X
Rendah, tekanan dibatasi sampai 1,00 MPa	Y
Sangat Rendah, tekanan dibatasi sampai 0,50 MPa	Z

(Sumber: Annex 14, Aerodromes, Volume I Aerodrome Design and Operations, Ninth Edition, July 2022, chapter 2.6.6)

d. Metode Evaluasi

Metode evaluasi dalam penentuan PCN menunjukkan cara nilai PCN diperoleh dan dilaporkan, sehingga penting dicantumkan untuk menjelaskan dasar penetapan kekuatan perkerasan. Metode evaluasi yang digunakan dalam menentukan PCN disajikan pada Tabel II.13.

Tabel II. 13 Kode Metode Evaluasi

Metode Evaluasi	Kode
Evaluasi Teknik, penelitian khusus karakteristik perkerasan dengan menggunakan teknologi tinggi	T
Menggunakan pengalaman pesawat, pengetahuan tentang jenis dan massa spesifik pesawat yang didukung secara penuh dalam penggunaan regular	U

(Sumber: Annex 14, Aerodromes, Volume I Aerodrome Design and Operations, Ninth Edition, July 2022, chapter 2.6.6)

12. Software FAARFIELD

FAA Rigid and Flexible Iterative Elastic Layered Design (FAARFIELD) merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk merencanakan dan mengevaluasi perkerasan bandar udara berdasarkan karakteristik pesawat, lalu lintas operasi, dan kondisi tanah dasar (Suryan dkk., 2023). FAA menetapkan FAARFIELD sebagai perangkat lunak standar dalam *Advisory Circular AC 150/5320-6G* untuk desain dan evaluasi perkerasan bandar udara. Pada penerapannya, FAARFIELD menggunakan analisis *layered elastic* untuk perkerasan lentur dan analisis elemen hingga tiga dimensi untuk perkerasan kaku (FAA, 2021).

Menurut FAA (2021) Dasar perhitungan pada FAARFIELD menggunakan konsep *Cumulative Damage Factor* (CDF), yaitu penjumlahan kontribusi kerusakan dari setiap jenis pesawat dalam traffic mix. Secara umum, konsep tersebut dinyatakan sebagai:

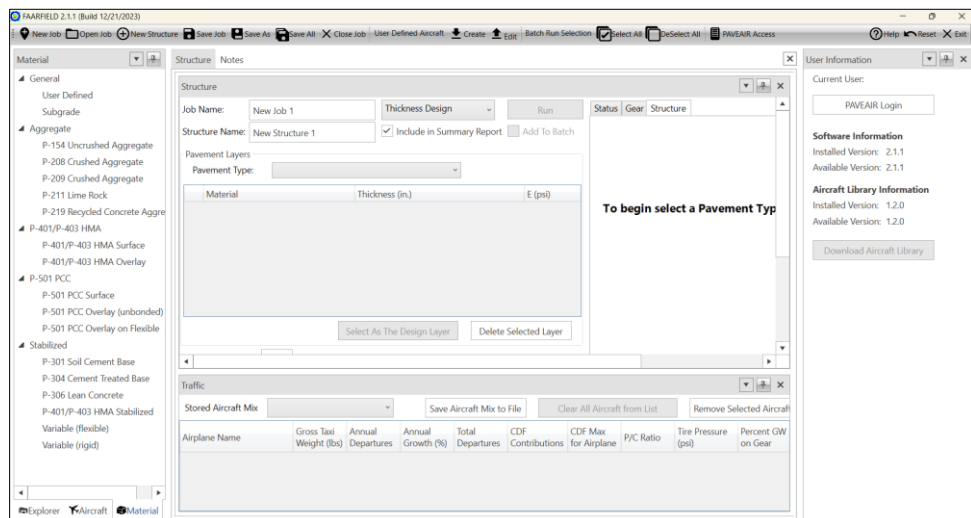
$$CDF = \sum \frac{n_i}{N_i}$$

Keterangan:

n_i = Jumlah repetisi beban aktual dari pesawat ke- i

N_i = Jumlah repetisi beban izin sampai tercapai kondisi kerusakan untuk pesawat ke- i

Nilai CDF menunjukkan akumulasi kerusakan yang diterima struktur perkerasan akibat lalu lintas pesawat. Desain dinyatakan memenuhi apabila total nilai CDF tidak melebihi 1 (Kinasih dkk., 2025). Pada perkerasan kaku, FAARFIELD tidak menghitung respons pelat beton dengan persamaan manual tunggal, tetapi melalui analisis numerik elemen hingga tiga dimensi yang mempertimbangkan karakteristik pembebanan pesawat dan parameter struktur perkerasan (FAA, 2021).



Gambar II. 5 Software FAARFIELD
(Sumber: Olahan Penulis, 2026)

Dalam penelitian ini, FAARFIELD digunakan sebagai perangkat lunak utama untuk merencanakan tebal struktur perkerasan kaku pada area pengembangan apron. Data yang digunakan sebagai input meliputi pesawat rencana, jumlah keberangkatan tahunan, mutu beton, dan daya dukung tanah dasar (Suryan dkk., 2023). Hasil analisis FAARFIELD kemudian digunakan

untuk menentukan tebal pelat beton dan lapisan pendukung yang memenuhi kriteria desain perkerasan bandar udara (FAA, 2021; Suryan dkk., 2023).

13. *Software* COMFAA

Computer Program for Aircraft Classification Number/Pavement Classification Number (COMFAA) merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk mengevaluasi kekuatan perkerasan bandar udara melalui pendekatan ACN-PCN (FAA, 2014). Dalam penerapannya, COMFAA digunakan untuk menilai kesesuaian antara karakteristik pesawat dan kemampuan perkerasan, sehingga dapat diketahui apakah perkerasan mampu melayani pesawat yang beroperasi (Alimin dkk., 2024).

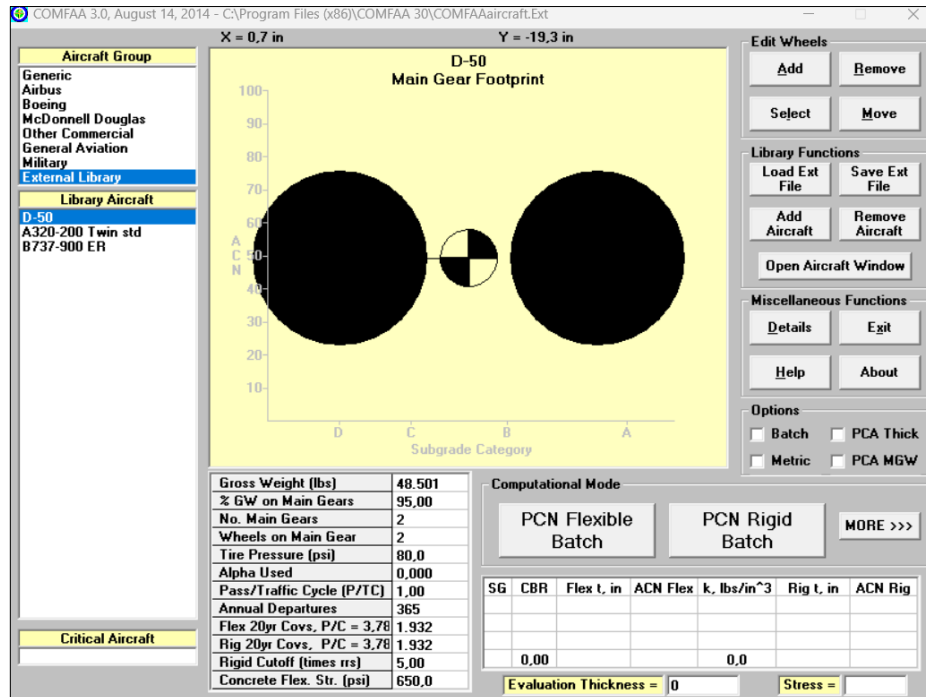
Dasar evaluasi pada COMFAA adalah perbandingan antara nilai *Aircraft Classification Number* (ACN) dan *Pavement Classification Number* (PCN), yaitu:

$$ACN \leq PCN$$

Perkerasan dinyatakan mampu melayani pesawat apabila nilai ACN pesawat lebih kecil atau sama dengan nilai PCN perkerasan (FAA, 2014). Dalam sistem ini, nilai ACN diturunkan dari *derived single wheel load* (DSWL), yang secara umum dinyatakan sebagai:

$$ACN = 2 \times DSWL$$

Dalam penelitian ini, COMFAA digunakan untuk mengevaluasi kekuatan perkerasan kaku pada area pengembangan apron setelah tebal struktur diperoleh dari hasil perencanaan. Hasil evaluasi tersebut digunakan untuk menilai apakah perkerasan yang direncanakan telah memenuhi kebutuhan operasi pesawat rencana (Sari dkk., 2023).



14. Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Rencana Anggaran Biaya (RAB) merupakan perhitungan biaya pekerjaan yang disusun berdasarkan volume pekerjaan dan harga satuan tiap item, sehingga dapat digunakan untuk memperkirakan kebutuhan biaya pelaksanaan suatu proyek konstruksi (Yulianti dkk., 2024). Dalam penelitian ini, RAB digunakan untuk menghitung estimasi biaya pengembangan area apron dan pembangunan struktur perkerasan kaku, sehingga hasil perencanaan tidak hanya menghasilkan desain teknis, tetapi juga gambaran kebutuhan biaya pelaksanaannya.

Penyusunan RAB dilakukan setelah diperoleh dimensi apron, susunan lapisan perkerasan, dan volume tiap pekerjaan, kemudian setiap item dihitung berdasarkan harga satuan yang berlaku sesuai ketentuan penyusunan perkiraan biaya pekerjaan konstruksi bidang pekerjaan umum dan perumahan rakyat. Menurut ketentuan Permen PUPR No. 1 Tahun 2022, penyusunan perkiraan biaya pekerjaan konstruksi dilakukan melalui perhitungan volume pekerjaan dan analisis harga satuan yang mencakup

bahan, upah tenaga kerja, dan peralatan (Kementerian PUPR, 2022). Sejalan dengan itu, Dwinata & Rivai (2022) menunjukkan bahwa perencanaan perluasan apron perlu diikuti dengan estimasi biaya pekerjaan, serta Wedasastra dkk. (2025) yang menerjemahkan hasil perencanaan perkerasan apron ke dalam kebutuhan biaya pelaksanaan. Dengan demikian, dalam penelitian ini RAB dipahami sebagai tahapan yang menerjemahkan hasil perencanaan teknis pengembangan apron ke dalam estimasi biaya yang terukur.

Pekerjaan pengembangan apron umumnya mencakup pekerjaan persiapan, pekerjaan tanah, pekerjaan perkerasan, dan pekerjaan pelengkap sesuai dengan konfigurasi struktur perkerasan beserta fasilitas pendukung yang direncanakan, yaitu:

a. Volume Pekerjaan

1) Pekerjaan Persiapan

- a) Survei kondisi lapangan
- b) Penentuan titik elevasi dari penempatan pator ukur
- c) Pembersihan area proyek, penyiapan peralatan, beserta material pada saat pekerjaan
- d) Pembuatan *bowplank*

2) Pekerjaan Tanah

- a) Penggalian tanah
- b) Penimbunan tanah

3) Pekerjaan Perkerasan

- a) Lapisan tanah dasar (*subgrade*)
- b) Lapisan pondasi bawah (*subbase course*)
- c) Lapisan Permukaan (*Surface course*)

- 4) Pekerjaan Pelengkap
 - a) Pemasangan rambu-rambu
 - b) Pengecatan marka jalan dan penerangan

b. Analisa Harga Satuan

Analisis harga satuan dalam penyusunan RAB mengacu pada Harga Pokok Kegiatan (HPK) Bidang Konstruksi Provinsi Jawa Tengah Tahun Anggaran 2025 sebagai dasar penetapan harga satuan upah, bahan, dan alat yang digunakan dalam perhitungan biaya.

B. Penelitian Terdahulu

Pada penelitian terdahulu, Dwinata & Rivai (2022) mengkaji penambahan luas apron Bandar Udara Internasional I Gusti Ngurah Rai Bali akibat tingginya pergerakan pesawat pada jam sibuk. Penelitian tersebut tidak hanya membahas kebutuhan pengembangan apron, tetapi juga dilanjutkan pada analisis perkerasan menggunakan metode FAA, melalui pendekatan perhitungan analitik maupun pemodelan komputasi, sehingga kebutuhan apron dan struktur perkerasannya dapat direncanakan secara terpadu. Sementara itu, Lalan dkk. (2021) meninjau kebutuhan perluasan apron Bandar Udara Internasional Minangkabau dengan data pergerakan pesawat tahun 2015 sampai 2019, lalu melakukan *forecasting* hingga tahun 2029. Hasilnya menunjukkan bahwa jumlah pergerakan pesawat rencana mencapai 17.501 pergerakan dengan *peak hour* sebesar 17 pergerakan, sehingga diperlukan pengembangan apron menjadi 18 *gate position* dengan dimensi rencana $56,9 \text{ m} \times 789,84 \text{ m}$. Kedua penelitian di atas memiliki korelasi kuat dengan penelitian ini, mengingat seluruhnya menjadikan pertumbuhan pergerakan pesawat sebagai dasar penentuan kebutuhan pengembangan apron. Perbedaannya, penelitian ini tidak berhenti pada identifikasi kebutuhan pengembangan apron, tetapi melanjutkannya pada perencanaan struktur perkerasan kaku secara rinci serta penyusunan rencana anggaran biaya pada area pengembangan apron Bandar Udara Internasional Jenderal Ahmad Yani Semarang.

Pada penelitian terdahulu, Supriyanti & Darmadi (2023) merencanakan struktur lapisan perkerasan untuk proyek pengembangan perluasan apron di Bandara Internasional Sam Ratulangi Manado dengan acuan FAA, FAARFIELD, dan COMFAA. Hasil penelitian menunjukkan bahwa apron dikembangkan dengan dimensi 421 m $\times$ 149,3 meter guna mengakomodasi tambahan 6 *parking stand*, sedangkan struktur perkerasannya memiliki tebal total 66 cm yang terdiri atas slab beton 38 cm, lapisan material *cement treated base* 13 cm, serta *subbase* setebal 15 cm di atas *subgrade* yang memiliki nilai CBR 5,07%. Di sisi lain Nasrah dkk. (2023) menganalisis konstruksi struktur perkerasan apron Bandar Udara Internasional Sultan Hasanuddin menggunakan metode FAA dan pesawat rencana Boeing 747-400. Hasil analisis menunjukkan bahwa struktur perkerasan yang dibutuhkan terdiri atas *subbase* 20 cm, *base course* 15 cm, serta *surface* beton setebal 41 cm. Kedua penelitian tersebut memiliki keterkaitan yang sangat kuat dengan penelitian ini karena sama-sama membahas desain struktur perkerasan apron dan menjadikan pesawat rencana serta kondisi tanah dasar sebagai parameter utama. Adapun perbedaannya, penelitian ini tidak langsung berfokus pada desain struktur, tetapi diawali dengan pembuktian kebutuhan pengembangan apron melalui *forecasting* dan analisis kondisi puncak, yang selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam perencanaan perkerasan kaku dan penyusunan rencana anggaran biaya.

Pada penelitian terdahulu, Wedasastra dkk. (2025) meneliti pembangunan ulang apron Bandar Udara Juwata, Kalimantan Utara, dengan pendekatan FAA Manual, FAARFIELD, dan COMFAA. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tebal total struktur perkerasan kaku adalah 60,8 cm berdasarkan FAA Manual dan 62,6 cm berdasarkan FAARFIELD, dengan nilai PCN sebesar 65R/B/X/T, serta estimasi biaya pelaksanaan sebesar Rp25.224.540.000,00. Sementara itu, Niradan dkk. (2025) membahas perencanaan desain tebal perkerasan apron Bandar Udara Betoambari Baubau untuk pesawat A320-200. Temuan dari evaluasi tersebut menunjukkan bahwa apron perlu diperluas menjadi 186,4 m $\times$ 82,6 m dengan luas 37.125 m² untuk menampung dua Airbus A320-200 dan dua ATR 72-600, sedangkan struktur perkerasannya direncanakan setebal 38,9 cm

dengan nilai PCN 41,2. Kedua penelitian tersebut memiliki persamaan dengan penelitian ini karena seluruhnya menempatkan pesawat rencana, kekuatan struktur, dan biaya sebagai unsur penting dalam desain perkerasan apron. Akan tetapi, penelitian ini berbeda karena titik awal kajiannya bukan rekonstruksi perkerasan eksisting atau optimasi tebal struktur semata, melainkan kebutuhan pengembangan apron akibat keterbatasan kapasitas yang terlebih dahulu dibuktikan melalui analisis *forecasting* dan kondisi puncak.

Pada penelitian terdahulu, Hakiki & Oemar (2025) meneliti estimasi dimensi apron untuk proyek perluasan Bandara Budiarto dengan metode analisis regresi linear sederhana. Dari evaluasi tersebut, disimpulkan bahwa pada tahun rencana 2029 dibutuhkan 54 *parking stand* dengan dimensi apron $887,1 \text{ m} \times 114,6 \text{ m}$ atau seluas 101.661,66 m yang menerapkan pola *angled nose in*. Berbeda dengan itu, Pratama dkk. (2021) meninjau perluasan apron Bandar Udara Kalimantan Berau untuk 10 tahun mendatang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada tahun rencana 2029 diperoleh pergerakan pesawat sebesar 5.401 pergerakan per tahun, 11 pergerakan pada jam sibuk, kebutuhan 12 *parking stand*, dan dimensi apron $485,6 \text{ m} \times 100 \text{ m}$. Untuk struktur perkerasannya diperoleh slab beton 38 cm, *stabilized base* 13 cm, dan *base* 24 cm dengan CBR *subgrade* 6%. Kedua penelitian tersebut sejalan dengan penelitian ini karena sama-sama menggunakan *forecasting* dan kondisi puncak sebagai dasar dalam menentukan kebutuhan pengembangan apron. Perbedaannya, penelitian ini tidak berhenti pada penentuan luasan apron, tetapi melanjutkannya hingga tahap desain struktur perkerasan kaku dan estimasi biaya konstruksi.

Pada penelitian terdahulu, Januari dkk. (2021) mengkaji peningkatan kapasitas apron di Bandara Halim Perdanakusuma melalui tiga skenario *forecasting* dengan pendekatan regresi linear sederhana. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada tahun rencana 2030 dibutuhkan peningkatan jumlah *parking stand* dari 16 *stand* menjadi 43 *stand* pada skenario pertama, 35 *stand* pada skenario kedua, dan 24 *stand* pada skenario ketiga, dengan asumsi durasi *parking time* maksimum 45 menit. Sementara itu, Al Ayubbi dkk. (2024) menilai kapasitas

apron dari aspek jumlah pergerakan penumpang, jumlah pergerakan pesawat, dan waktu pesawat berada di apron. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kapasitas apron eksisting masih mencukupi dalam jangka pendek, tetapi pada tahun mendatang diperkirakan melampaui kapasitas sehingga diperlukan penambahan *parking stand* sebagai langkah optimasi jangka panjang. Kedua penelitian tersebut relevan dengan penelitian ini karena sama-sama memanfaatkan data pergerakan pesawat dan kondisi puncak untuk menilai tingkat kepadatan apron. Perbedaannya, penelitian terdahulu lebih menekankan evaluasi kapasitas dan rekomendasi kebutuhan fasilitas, sedangkan penelitian ini menggunakan hasil evaluasi tersebut sebagai dasar lanjutan untuk merencanakan pengembangan apron dan struktur perkerasan kaku secara lebih rinci.

Pada penelitian terdahulu, Permatasari (2021) meneliti perencanaan timbunan pada area perluasan apron Bandar Udara Silampari Lubuklinggau dengan memperhitungkan konsolidasi dan penurunan tanah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tinggi timbunan yang dibutuhkan mencapai 11,461 m, dengan pelaksanaan timbunan bertahap dalam dua tahap, besar konsolidasi manual 0,331 m, dan masa tunggu konsolidasi sekitar 2,488 tahun. Di sisi lain, Takdir dkk. (2025) mengevaluasi kapasitas apron Bandar Udara Wamena dari aspek ukuran apron, tata ruang, dan keselamatan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kapasitas apron masih berada pada kategori “baik”, tetapi mendekati batas optimal, sehingga perlu perluasan apron, penguatan SOP, dan peningkatan pengawasan visual *marshaller*. Kedua penelitian tersebut tetap berkaitan dengan penelitian ini karena sama-sama membahas upaya peningkatan kinerja apron sebagai bagian penting dari fasilitas sisi udara. Namun demikian, Permatasari (2021) lebih menitikberatkan pada aspek geoteknik, sedangkan Takdir dkk. (2025) lebih menekankan evaluasi operasional. Adapun penelitian ini memadukan analisis kapasitas, kebutuhan pengembangan apron, dan perencanaan struktur perkerasan kaku dalam satu rangkaian kajian.

Pada penelitian terdahulu, Bethary dkk. (2015) menganalisis kekuatan perkerasan runway, taxiway, dan apron di Bandar Udara Soekarno Hatta terhadap beban pesawat Airbus A-380 dengan pendekatan ICAO dan evaluasi nilai ACN-PCN. Hasil penelitian menunjukkan bahwa struktur perkerasan eksisting masih mampu menahan beban pesawat rencana karena nilai PCN bandar udara lebih besar daripada ACN pesawat Airbus A-380. Sementara itu, Gunawan & Darmadi (2023) membahas perencanaan ulang perkerasan taxiway N1-NP2 di Bandar Udara Juanda Surabaya dari *flexible pavement* menjadi *rigid pavement* dengan metode FAA, FAARFIELD, dan COMFAA. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perubahan jenis perkerasan diperlukan untuk meningkatkan kemampuan struktur dalam menahan beban lalu lintas pesawat, dengan tebal slab beton 15,2 inci dan nilai PCN 88,2. Kedua penelitian tersebut memiliki kesamaan dengan penelitian ini karena sama-sama membahas kekuatan dan perencanaan struktur perkerasan fasilitas sisi udara bandar udara berdasarkan beban pesawat rencana. Perbedaannya, penelitian Bethary dkk. berfokus pada evaluasi kekuatan perkerasan eksisting, sedangkan Gunawan dan Darmadi berfokus pada taxiway, sementara penelitian ini secara khusus menitikberatkan pada pengembangan area apron dan perencanaan struktur perkerasan kaku pada area pengembangan tersebut.