

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Bandar udara

Menurut UU No.1 tahun 2009, Bandar udara merupakan suatu kawasan dengan batas tertentu yang dapat digunakan untuk tempat mendarat atau lepas landas pesawat udara, kegiatan naik turun penumpang atau barang dan tempat perpindahan intra dan antarmoda transportasi yang dilengkapi dengan fasilitas keamanan dan keselamatan penerbangan, serta fasilitas pokok dan fasilitas

2.2. Keselamatan dan Keamanan Penerbangan

Keselamatan penerbangan dapat diartikan sebagai kondisi di mana seluruh aspek penerbangan mulai dari pemanfaatan wilayah udara, pengoperasian pesawat udara, bandar udara, navigasi penerbangan, hingga fasilitas pendukung dan umum lainnya telah memenuhi seluruh persyaratan keselamatan yang berlaku. Sedangkan keamanan penerbangan merupakan keadaan yang menjamin perlindungan terhadap kegiatan penerbangan dari potensi tindakan melawan hukum, yang dicapai melalui koordinasi dan keterpaduan antara sumber daya manusia, fasilitas, serta prosedur yang diterapkan secara menyeluruh.

Program manajemen keselamatan berkaitan dengan pembentukan budaya organisasi yang proaktif terhadap keselamatan melalui pelatihan, pendidikan, dan komunikasi keselamatan yang efektif. Kesiapan dalam menghadapi kondisi darurat diwujudkan melalui pengembangan *Emergency Response Planning* (ERP) yang terstruktur, di mana kecepatan waktu respons menjadi indikator kunci keberhasilan penanganan keadaan darurat di bandar udara. (Hi Umar et al., 2023)

2.3. Safety Risk Assessment

Safety risk assessment adalah metode untuk memberikan *Runway Safety Team* atau personel bandar udara suatu metode dalam mengelola risiko dari bahaya yang telah diidentifikasi secara tepat, mengembangkan strategi mitigasi risiko yang efektif, serta memprioritaskan alur kerja mereka. Mengingat waktu dan sumber daya keuangan yang terbatas, proses ini memungkinkan personel untuk secara efisien menentukan area mana yang

membutuhkan perhatian segera guna mengurangi risiko keselamatan di runway hingga tingkat serendah mungkin yang masih dapat diterima (*As Low As Reasonably Practicable* – ALARP).

Proses penilaian dan manajemen risiko keselamatan *runway* harus sejalan dengan pedoman yang terdapat dalam ICAO Doc 9859. Setelah bahaya diidentifikasi oleh RST atau personel bandar udara, tujuan berikutnya adalah agar pengelola bandar udara /RST dapat menentukan tingkat keparahan risiko keselamatan (*safety risk severity*), dengan mempertimbangkan upaya mitigasi yang sudah ada dan rencana mitigasi pada saat penilaian dilakukan. Hasil dari penilaian tersebut kemudian digunakan untuk mengkategorikan tingkat keparahan risiko keselamatan berdasarkan panduan yang telah ditetapkan dalam ICAO Doc 9859. Langkah terakhir dalam proses penilaian ini adalah memastikan bahwa tingkat risiko keselamatan yang dihasilkan masih berada dalam batas yang dapat diterima (*acceptable level of safety*). (ICAO, 2007)

2.3.1. *Safety Risk Probability*

Probabilitas risiko keselamatan (*Safety Risk Probability*) adalah kemungkinan bahwa suatu konsekuensi atau hasil keselamatan akan terjadi. Dalam proses ini, penting untuk membayangkan berbagai skenario agar semua potensi konsekuensi bisa dipertimbangkan secara menyeluruh (ICAO, 2018). Penjelasan dan tingkatan nilai *safety risk probability* disajikan pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Tabel *safety risk probability*

<i>Likelihood</i>	Makna	Nilai
<i>Frequent</i>	Kemungkinan besar terjadi berkali-kali	5
<i>Occasional</i>	Kadang-kadang terjadi	4
<i>Remote</i>	Tidak mungkin terjadi, tetapi masih memungkinkan	3
<i>Improbable</i>	tidak mungkin terjadi	2
<i>Extremely Improbable</i>	Hampir tidak dapat dibayangkan bahwa kejadian tersebut akan terjadi	1

Sumber : (ICAO, 2018)

Dengan mempertimbangkan berbagai faktor yang mungkin mendasari pertanyaan-pertanyaan sebelumnya akan sangat membantu dalam menilai probabilitas konsekuensi dari suatu bahaya pada setiap skenario yang dapat diperkirakan (*foreseeable scenario*).

2.3.2. *Safety Risk Severity*

Tingkat keparahan(severity) dilakukan dengan mempertimbangkan potensi konsekuensi yang berkaitan dengan bahaya tersebut. Penilaian ini dilaksanakan setelah menilai Probabilitas risiko keselamatan (*Safety Risk Probability*). Tingkat keparahan risiko keselamatan (*Safety Risk Severity*) didefinisikan sebagai tingkat atau besarnya kerugian yang secara wajar dapat diharapkan terjadi sebagai akibat dari bahaya yang telah diidentifikasi. Klasifikasi tingkat keparahan harus mempertimbangkan hal-hal berikut:

- a) Korban jiwa atau cedera serius yang mungkin terjadi sebagai akibat dari :
 - berada di dalam pesawat udara;
 - memiliki kontak langsung dengan bagian mana pun dari pesawat udara, termasuk bagian yang terlepas dari pesawat; atau
 - terpapar langsung oleh hembusan mesin jet (*jet blast*).
- b) Kerusakan
 1. Kerusakan atau kegagalan struktural pada pesawat udara yang:
 - berdampak negatif terhadap kekuatan struktur, kinerja, atau karakteristik terbang pesawat udara; atau
 - memerlukan perbaikan besar atau penggantian komponen yang terdampak.
 2. Kerusakan pada peralatan pelayanan lalu lintas udara (ATS) atau peralatan bandar udara yang:
 - memengaruhi kemampuan pengelolaan separasi antar pesawat udara; atau
 - memengaruhi kemampuan pendaratan pesawat udara.

Klasifikasi tingkat keparahan risiko keselamatan beserta nilainya disajikan seperti pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 *safety risk severity*

<i>Severity</i>	<i>Meaning</i>	<i>Value</i>
<i>Catastrophic</i>	• <i>Aircraft / equipment destroyed</i> • <i>Multiple deaths</i>	A
<i>Hazardous</i>	• <i>A large reduction in safety margins, physical distress or a workload such that operational personnel cannot be relied upon to perform their tasks accurately or completely</i>	B

Tabel 2. 3 *safety risk severity* (lanjutan)

<i>Major</i>	• <i>Serious injury</i> • <i>Major equipment damage</i> • <i>A significant reduction in safety margins, a reduction in the ability of operational personnel to cope with adverse operating conditions as a result of an increase in workload or as a result of conditions impairing their efficiency</i>	C
<i>Major</i>	• <i>Serious incident</i> • <i>Injury to persons</i>	C
<i>Minor</i>	• <i>Nuisance Operating limitations</i> • <i>Use of emergency procedures</i> • <i>Minor incident</i>	D
<i>Negligible</i>	• <i>Few consequences</i>	E

Sumber : (ICAO, 2018)

2.3.3. *Safety Risk Matrix*

Indeks tingkat risiko keselamatan (*Safety Risk Index Rating*) dibuat dengan menggabungkan hasil dari skor probabilitas dan skor tingkat keparahan. Dalam contoh di dibawah ini, indeks tersebut dinyatakan dengan kode alfanumerik (huruf dan angka). Kombinasi antara tingkat keparahan dan probabilitas masing-masing disajikan dalam matriks penilaian risiko keselamatan (*safety risk assessment matrix*) pada Tabel. Matriks ini digunakan untuk menentukan tingkat toleransi risiko keselamatan (*safety risk tolerability*). Sebagai contoh, pada suatu situasi di mana probabilitas risiko keselamatan dinilai Occasional (4), dan tingkat keparahan risiko keselamatan dinilai *Hazardous* (B), maka hasilnya adalah indeks risiko keselamatan 4B. Kombinasi antara probabilitas dan tingkat keparahan risiko keselamatan tersebut disajikan seperti pada Tabel 2.3.

Tabel 2. 4 *Safety risk matrix*

<i>Safety Risk</i>		<i>Severity</i>				
<i>Probability</i>		<i>Catastrophic</i> (A)	<i>Hazardous</i> (B)	<i>Major</i> (C)	<i>Minor</i> (D)	<i>Negligible</i> (E)
<i>Frequent</i>	(5)	5A	5B	5C	5D	5E
<i>Occasional</i>	(4)	4A	4B	4C	4D	4E
<i>Remote</i>	(3)	3A	3B	3C	3D	3E
<i>Improbable</i>	(2)	2A	2B	2C	2D	2E
<i>Extremely Improbable</i>	(1)	1A	1B	1C	1D	1E

Sumber : (ICAO, 2018)

Risiko keselamatan secara konseptual dinilai dalam tiga kategori, yaitu dapat diterima (*acceptable*), dapat ditoleransi (*tolerable*), atau tidak dapat diterima (*intolerable*). Risiko keselamatan yang dinilai termasuk dalam kategori tidak dapat diterima (*intolerable*) merupakan risiko yang tidak bisa diterima dalam kondisi apapun. Probabilitas dan/atau tingkat keparahan dari konsekuensi bahaya tersebut berada pada tingkat yang sangat tinggi, sehingga potensi kerusakannya menimbulkan ancaman serius terhadap keselamatan. Dalam kondisi ini, tindakan mitigasi wajib dilakukan, atau bahkan aktivitas harus segera dihentikan. Dalam praktiknya, setiap risiko hasil *risk assessment* diklasifikasikan menjadi tiga tingkat :

1. *Acceptable Risk* (Risiko Dapat Diterima)

Risiko berada pada tingkat yang rendah; tidak memerlukan tindakan tambahan karena sudah di bawah ambang batas aman.

2. *Tolerable Risk* (Risiko Dapat Ditoleransi)

Risiko masih bisa diterima sementara, tetapi perlu dilakukan pengawasan (monitoring) dan perbaikan berkelanjutan agar tidak meningkat.

3. *Intolerable/Unacceptable Risk* (Risiko Tidak Dapat Diterima)

Risiko berada pada tingkat bahaya tinggi (misalnya kemungkinan tabrakan pesawat dengan kendaraan di *runway*). Dalam kategori ini, tindakan penanganan harus segera direncanakan dan dikendalikan.

Deskripsi dan rekomendasi tindakan berdasarkan rentang indeks risiko keselamatan disajikan seperti pada Tabel 2.4

Tabel 2. 5 *Safety Risk Index Range*

<i>Safety Risk Index Range</i>	<i>Safety Risk Description</i>	<i>Recommended Action</i>
5A, 5B, 5C, 4A, 4B, 3A	INTOLERABLE	Take immediate action to mitigate the risk or stop the activity. Perform priority safety risk mitigation to ensure additional or enhanced preventative controls are in place to bring down the safety risk index to tolerable.
5D, 5E, 4C, 4D, 4E, 3B, 3C, 3D, 2A, 2B, 2C, 1A	TOLERABLE	Can be tolerated based on the safety risk mitigation. It may require management decision to accept the risk.

Tabel 2. 6 *Safety Risk Index Range* (lanjutan)

1E, 2D, 2E, 1B, 1C, 1D, 1E	ACCEPTABLE	Acceptable as is. No further safety risk mitigation required.
----------------------------	------------	---

Sumber : ICAO (2018)

2.4. *Foreign object debris (FOD)*

Foreign Object Debris (FOD) adalah segala jenis benda, baik yang bersifat hidup maupun tidak yang berada di lokasi yang tidak semestinya dalam lingkungan bandar udara, dan memiliki potensi untuk menimbulkan kecelakaan bagi personel bandara maupun kerusakan pada pesawat udara. (ICAO, 2018)

FOD adalah kumpulan benda-lepasan (*loose objects*) yang berada di area operasi pesawat yang dapat membahayakan struktur pesawat, termasuk mesin, ban, dan sistem kontrol. Dalam konteks operasional bandar udara menyebutkan bahwa FOD dapat berupa berbagai objek seperti baut, tanah, mur, plastik, pecahan perkerasan, hingga makhluk hidup seperti burung atau reptil yang berada di area sisi udara seperti *runway*, *taxiway*, dan *apron*. Keberadaan benda-benda ini dapat menimbulkan risiko serius seperti kerusakan mesin akibat tersedotnya benda asing, pecahnya ban pesawat saat *take-off*, hingga cedera personel di lapangan akibat lemparan benda. (ICAO, 2007)

2.5. *Runway incursion*

Runway incursion merupakan suatu peristiwa atau keadaan di *runway* yang melibatkan keberadaan pesawat udara, kendaraan operasional, manusia, atau benda-benda di area yang tidak seharusnya berada di kawasan terbatas seperti *manouvering area* yang area tersebut digunakan dan dimanfaatkan untuk kegiatan yang berhubungan dengan lepas landas pesawat udara. Dengan kata lain setiap objek atau individu yang secara sengaja atau tidak disengaja memasuki area tersebut dapat menimbulkan potensi bahaya dan meningkatkan risiko kecelakaan penerbangan. (ICAO, 2020)

Insiden *runway incursion* dapat menyebabkan konsekuensi serius, mulai dari gangguan operasional hingga kecelakaan fatal yang menimbulkan korban jiwa. Walaupun bukan fenomena baru dalam dunia penerbangan, peningkatan lalu lintas udara serta kurangnya pemahaman terhadap batas-batas area sisi udara (*airside restricted area*) menyebabkan potensi kejadian ini semakin tinggi.

Berdasarkan data operasional penerbangan, *runway incursion* umumnya terjadi dalam beberapa bentuk kejadian, antara lain:

- a. Pesawat atau kendaraan yang melintas di depan pesawat yang sedang melakukan pendaratan atau lepas landas
- b. Pesawat atau kendaraan yang melewati batas marka *runway-holding position*
- c. Pesawat atau kendaraan yang kehilangan orientasi posisi dan tanpa sengaja memasuki landasan aktif yang sedang digunakan untuk operasi penerbangan
- d. Gangguan komunikasi yang menyebabkan kesalahpahaman terhadap instruksi dari pemandu lalu lintas udara (ATC).

Menurut (ICAO, 2020), terdapat beberapa faktor utama yang berkontribusi terhadap terjadinya *runway incursion* di lingkungan bandara, antara lain:

- a. Kegagalan Komunikasi

Salah satu penyebab paling dominan adalah kesalahan komunikasi antara pemandu lalu lintas udara dan pilot atau pengemudi kendaraan sisi udara (*airside vehicle operator*). Misinterpretasi atau ketidaktepatan dalam mengulangi instruksi dapat menyebabkan pesawat atau kendaraan memasuki landasan aktif tanpa izin, sehingga mengancam keselamatan penerbangan yang sedang berlangsung.

- b. Faktor dari Awak Penerbangan (Pilot)

Kesalahan dari pihak pilot sering terjadi akibat menurunnya kesadaran situasional (*situational awareness*), di mana pilot berasumsi telah menerima izin untuk memasuki runway padahal belum. Desain bandara yang kompleks, prosedur yang rumit, serta tekanan operasional dapat memperburuk kondisi ini, terutama saat pilot baru saja mendarat dan menerima banyak instruksi secara berurutan.

- c. Faktor dari Pemandu Lalu Lintas Udara (ATC)

Kegagalan pengendali lalu lintas udara untuk memantau pergerakan pesawat atau kendaraan di runway aktif juga dapat menyebabkan *runway incursion*. Hal ini bisa disebabkan oleh keterbatasan jarak pandang, kesalahan identifikasi posisi pesawat, kurangnya koordinasi antar petugas (*transfer of control*), atau kelalaian dalam memastikan pembacaan ulang instruksi oleh pilot sesuai dengan izin yang diberikan.

d. Faktor dari Pengemudi Kendaraan di *Airside*

Operator kendaraan di sisi udara yang tidak memahami instruksi ATC dengan benar, tidak memiliki perangkat komunikasi (*radiotelephone*) yang memadai, atau tidak memahami marka dan rambu-rambu bandara, juga berpotensi menyebabkan pelanggaran area terbatas. Ketidakkuratan dalam melaporkan posisi kendaraan kepada ATC dapat memperbesar risiko terjadinya insiden di *runway* aktif (ICAO, 2020)

Operator bandar udara dapat mengidentifikasi isu-isu yang berpotensi menyebabkan *runway incursion* untuk mengurangi risiko terjadinya kecelakaan pesawat udara. Tim keselamatan landasan pacu (*runway safety*) juga dapat mengembangkan strategi berdasarkan kejadian lokal atau digabungkan dengan informasi-informasi kejadian yang didapatkan dari bandara lain. (ICAO, 2007). Maka dari itu pembangunan dan perencanaan jalan inspeksi adalah salah satu langkah tegas dalam menerapkan *runway safety*.

2.6. Aerodrome

Aerodrome adalah kawasan di daratan dan/atau perairan dengan batas-batas tertentu yang hanya digunakan sebagai tempat Pesawat Udara mendarat dan lepas landas (Kementerian Perhubungan, 2023). *Aerodrome* terdiri dari dua jenis yaitu *aerodrome* daratan dan perairan. *Aerodrome* Daratan adalah kawasan di daratan dengan batas-batas tertentu yang hanya digunakan sebagai tempat Pesawat Udara mendarat dan lepas landas sedangkan *Aerodrome* Perairan, fungsi dan definisinya sama dengan *aerodrome* perairan namun lokasinya berada di perairan. Contoh area *aerodrome* pada bandar udara disajikan seperti pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 *aerodrome*

Sumber : Dokumen penulis (2025).

2.7. *Airside* (fasilitas sisi udara)

Airside atau sisi udara merupakan suatu wilayah atau daerah di bandar udara yang memiliki peran vital dalam operasional penerbangan meliputi kegiatan pergerakan pesawat udara dan parkir pesawat udara serta kegiatan operasional lainnya. Fasilitas yang ada di dalam *airside* adalah sebagai berikut :

1. Landas pacu (*runway*)

Runway merupakan daerah persegi yang telah ditentukan di *Aerodrome* Daratan untuk pendaratan atau lepas landas Pesawat Udara. Kondisi *runway* pada Bandar Udara DEO Sorong disajikan seperti pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 *Runway*

Sumber : DJPU (2025)

2. *Taxiway*

Taxiway adalah Jalur tertentu pada *Aerodrome* Daratan di darat yang ditujukan untuk Pesawat Udara melakukan *taxi* atau perpindahan antar fasilitas pesawat udara dan ditunjukan untuk menjadi penghubung antara satu bagian *Aerodrome* Daratan dengan lainnya, seperti *apron* dan hanggar. Kondisi *taxiway* pada Bandar Udara DEO Sorong disajikan seperti pada Gambar 2.3.



Gambar 2. 3 *Taxiway*

Sumber : DJPU (2025)

3. *Apron*

Area yang ditentukan yang digunakan untuk mengakomodasi pesawat untuk memuat dan membongkar/menurunkan penumpang dan barang, parkir, mengisi bahan bakar, dsb. Apron biasanya diperkeras dan dirancang dekat dengan bangunan terminal. Kondisi *apron* pada Bandar Udara DEO Sorong disajikan seperti pada Gambar 2.3.



Gambar 2. 4 *Apron*

Sumber : DJPU (2025)

4. Fasilitas keselamatan dan navigasi penerbangan

Ada beberapa fasilitas keselamatan yang terdapat pada sisi udara yaitu :

- a. *Tower Air Traffic Control*
- b. *PAPI light*
- c. *Glide path*
- d. VOR, VHF, NDB, Radar

Salah satu fasilitas keselamatan dan navigasi penerbangan, yaitu menara ATC, disajikan seperti pada Gambar 2.5



Gambar 2. 5 Menara ATC

Sumber : DJPU (2025)

2.8.Landside (Fasilitas sisi darat)

Sisi darat merupakan wilayah yang berada di bandar udara yang tidak langsung berhubungan dengan kegiatan pergerakan pesawat namun tetap memiliki peran penting dalam operasional penerbangan. Fasilitas sisi darat meliputi :

- a. Gedung terminal
- b. Bangunan terminal kargo
- c. Bangunan operasional penerbangan
- d. Jalan masuk (*access road*)
- e. Parkiran kendaraan bermotor
- f. Gedung perkantoran bandar udara

2.9.Jalan inspeksi

Jalan inspeksi atau *check road* merupakan sebuah jalan yang digunakan untuk operasional personel penerbangan, jalur ini digunakan untuk berbagai kegiatan terutama untuk pengecekan fasilitas yang ada di sisi udara. Jalan ini sangatlah penting agar para personel bandar udara yang akan melakukan pengecekan fasilitas udara tidak memotong atau *crossing* melalui fasilitas pergerakan pesawat seperti *runway*, *taxiway*, dan *arpon*. Jalan inspeksi bisa berupa perkerasan kaku dan lentur yang disesuaikan dengan kondisi tanah dan kendaraan yang akan dilalui.

Menurut Surat Keputusan Direktorat Jenderal Perhubungan Udara Nomor 347/XII/1999 tentang Standar Rancangan Bangunan dan/atau Rekayasa Fasilitas dan Peralatan Bandar Udara, jalan inspeksi dibangun mengelilingi batas area bandara dan digunakan sebagai jalur untuk melakukan pemeriksaan rutin terhadap fasilitas dasar bandar udara. Selain itu, jalan inspeksi yang terhubung dengan jalan operasi di sekitar landas pacu (*runway*) pada jarak kurang lebih 500 meter harus dirancang dengan mempertimbangkan lokasi tempat penyimpanan (*reservoir*) peralatan PKP-PK (Pertolongan Kecelakaan Penerbangan dan Pemadam Kebakaran).

2.10. Runway strip

Runway Strip merupakan area tertentu yang mencakup landasan pacu (*runway*) beserta stopway apabila tersedia. Area ini berfungsi untuk meminimalkan risiko kerusakan pesawat udara apabila pesawat keluar dari batas landasan saat operasi, serta memberikan perlindungan tambahan bagi pesawat yang sedang melakukan proses lepas landas maupun pendaratan.

Ukuran *runway strip* disesuaikan dengan *code letter* dan *code number* masing-masing bandara. Berikut berbagai jenis ukuran runway strip (Kementerian Perhubungan, 2023a)

- Lebar Runway Strip pada Precision Approach Runway harus membentang secara lateral (menyamping) dengan jarak:
 - a. 70 m untuk Code Number 1 atau 2; dan
 - b. 140 m untuk Code Number 3 atau 4 dari sumbu Runway pada masing-masing sisi Runway sepanjang Runway Strip.
- Lebar Runway Strip pada Non-Precision Approach Runway harus membentang secara lateral (menyamping) dengan jarak:
 - a. 70 m untuk Code Number 1 atau 2; dan
 - b. 140 m untuk Code Number 3 atau 4. dari sumbu Runway pada masing-masing sisi Runway sepanjang Runway Strip.
- Lebar Runway Strip pada Non-Instrument Runway harus membentang secara lateral (menyamping) dengan jarak:
 - e. 30 m untuk Code Number 1;
 - f. 40 m untuk Code Number 2; dan
 - g. 75 m untuk Code Number 3 atau 4. dari sumbu Runway pada masing-masing sisi Runway sepanjang Runway Strip.

Ilustrasi area *runway strip* disajikan seperti pada Gambar 2.6.

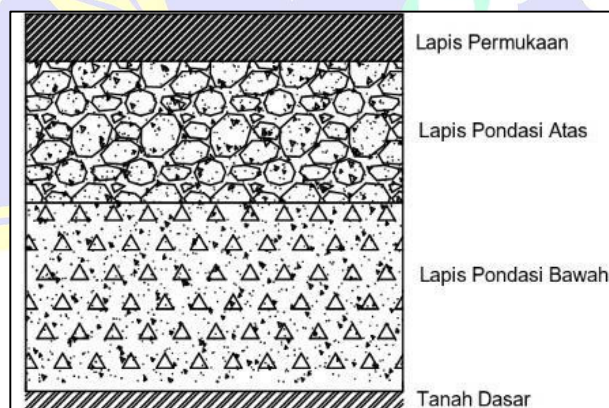


Gambar 2. 6 Ilustrasi *Ruway Strip*

Sumber : Dokumen penulis (2025)

2.11. Perkerasan lentur

Perkerasan lentur adalah perkerasan yang menggunakan bahan campuran beraspal sebagai lapisan penutupnya. Perkerasan lentur juga dapat di definisikan sebagai konstruksi jalan yang tersusun atas beberapa lapisan material, di mana lapisan permukaannya menggunakan bahan beraspal (*bituminous material*) yang bersifat lentur dan mampu menyesuaikan deformasi akibat beban kendaraan. Struktur ini bekerja dengan cara menyebarkan beban secara bertahap dari lapisan atas ke lapisan bawah hingga ke tanah dasar (*subgrade*), sehingga tekanan yang diterima oleh tanah dasar menjadi lebih kecil dan tidak menimbulkan kerusakan berlebih. Struktur lapisan pada perkerasan lentur (*flexible pavement*) disajikan seperti pada Gambar 2.7.



Gambar 2. 7 Struktur Lapisan Perkerasan Lentur

Sumber : (Departemen Pekerjaan Umum, 1987)

2.11.1. Tanah dasar (*subgrade*)

Kekuatan dan keawetan konstruksi perkerasan jalan sangat tergantung dari sifat-sifat dan daya dukung tanah dasar. Umumnya persoalan yang menyangkut tanah dasar adalah sebagai berikut :

- a. Perubahan bentuk tetap (deformasi permanen) dari macam tanah tertentu akibat beban lalu lintas.
- b. Sifat mengembang dan menyusut dari tanah tertentu akibat perubahan kadar air.
- c. Daya dukung tanah yang tidak merata dan sukar ditentukan secara pasti pada daerah dengan macam tanah yang sangat berbeda sifat dan kedudukannya, atau akibat pelaksanaan.
- d. Lendutan dan lendutan balik selama dan sesudah pembebanan lalu lintas dari macam tanah tertentu.
- e. Tambahan pemadatan akibat pembebanan lalu lintas dan penurunan yang diakibatkannya, yaitu pada tanah berbutir kasar (*granular soil*) yang tidak dipadatkan secara baik pada saat pelaksanaan. Untuk sedapat mungkin mencegah timbulnya persoalan di atas maka tanah dasar harus dikerjakan sesuai dengan pedoman desain yang berlaku.

Kualitas tanah dasar merupakan faktor penentu utama dalam perencanaan tebal perkerasan jalan. Pengujian daya dukung tanah dasar dapat dilakukan menggunakan alat Dynamic Cone Penetrometer (DCP) yang hasilnya dikorelasikan dengan nilai *California Bearing Ratio* (CBR). Pengambilan data CBR perlu mempertimbangkan kondisi musim karena berpengaruh terhadap nilai modulus tanah dasar, sehingga diperlukan faktor koreksi musiman untuk mendapatkan nilai CBR desain yang representatif. Penentuan nilai CBR desain selanjutnya dilakukan menggunakan metode grafis pada persentil ke-90, yang kemudian menjadi dasar dalam menentukan kebutuhan perbaikan tanah dasar sebelum konstruksi perkerasan dilaksanakan. (Are et al., 2025)

2.11.2. Lapis Pondasi Bawah (*subbase*)

Fungsi lapis pondasi bawah antara lain :

- a. Sebagai bagian dari konstruksi perkerasan untuk mendukung dan menyebarkan beban roda.

- b. Mencapai efisiensi penggunaan material yang relatif murah agar lapisanlapisan selebihnya dapat dikurangi tebalnya (penghematan biaya konstruksi).
- c. Untuk mencegah tanah dasar masuk ke dalam lapis pondasi.
- d. Sebagai lapis pertama agar pelaksanaan dapat berjalan lancar.

2.11.3. Lapis Pondasi (*base course*)

- a. Sebagai bagian perkerasan yang menahan beban roda,
- b. Sebagai perletakan terhadap lapis permukaan. Bahan-bahan untuk lapis pondasi umumnya harus cukup kuat dan awet sehingga dapat menahan beban-beban roda.

2.11.4. Lapis Permukaan (*surface*)

Fungsi lapis permukaan antara lain :

- a. Sebagai bahan perkerasan untuk menahan beban roda
- b. Sebagai lapisan rapat air untuk melindungi badan jalan kerusakan akibat cuaca.
- c. Sebagai lapisan aus (*wearing course*).

2.12. Metode Manual Desain Perkerasan (MDP) Tahun 2024

Manual Desain Perkerasan Jalan (MDPJ) 2024 merupakan pedoman teknis yang disusun oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) sebagai acuan dalam merencanakan struktur perkerasan jalan yang aman, andal, dan ekonomis sesuai dengan kondisi lalu lintas, daya dukung tanah dasar, serta umur rencana jalan. Pedoman ini digunakan untuk berbagai jenis jalan, mulai dari jalan dengan lalu lintas tinggi hingga jalan dengan lalu lintas rendah, seperti jalan lingkungan, jalan akses, dan jalan inspeksi.

2.12.1. Umur Rencana

Umur rencana merupakan umur layanan yang dapat di terima oleh perkerasan tersebut. Umur rencana untuk masing-masing jenis perkerasan sesuai MDPJ 2024 disajikan seperti pada Tabel 2.5. berikut ini.

Tabel 2. 7 Umur rencana

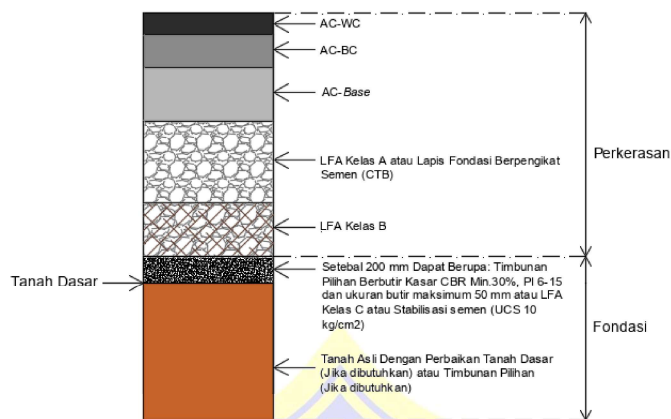
Jenis Perkerasan	Elemen Perkerasan	Umur Rencana (tahun)
Perkerasan lentur	Lapisan aspal dan lapisan berbutir(2).	20
	Lapis Fondasi jalan	40
	Semua perkerasan untuk lokasi yang tidak dimungkinkan pelapisan ulang (<i>overlay</i>), seperti: jalan perkotaan, <i>underpass</i> , jembatan, dan terowongan Lapis Fondasi Berpengikat Semen, <i>Cement Treated Based</i> (CTB)	
Perkerasan kaku	Lapis fondasi atas, lapis fondasi bawah, lapis beton semen, dan fondasi jalan	
Jalan tanpa penutup	Semua elemen (termasuk fondasi jalan)	10

Sumber : (Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, 2024)

Apabila penetapan umur rencana sesuai ketentuan dianggap kurang sesuai atau sulit diterapkan, maka perencanaan dapat menggunakan umur rencana alternatif. Namun, sebelum menetapkan umur rencana tersebut, perlu dilakukan analisis biaya siklus hidup terdiskontinu (*discounted life cycle cost analysis*) untuk memastikan bahwa umur rencana yang dipilih memberikan nilai biaya terendah selama masa layanan jalan.

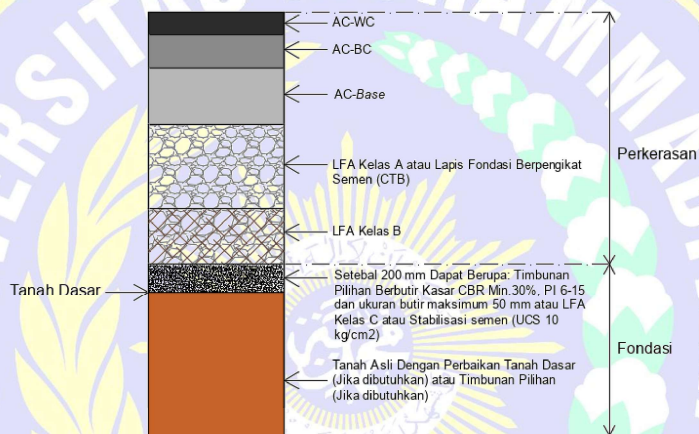
2.12.2. Jenis Struktrur Perkerasan

Jenis struktur perkerasan lentur baru secara umum terbagi menjadi 3 bagian diantaranya perkerasan pada tanah asli (*at grade*), perkerasan pada timbunan, dan perkerasan pada galian. Jenis struktur perkerasan lentur pada kondisi tanah asli, timbunan dan galian disajikan seperti pada Gambar 2.8, 2.9, 2.10.



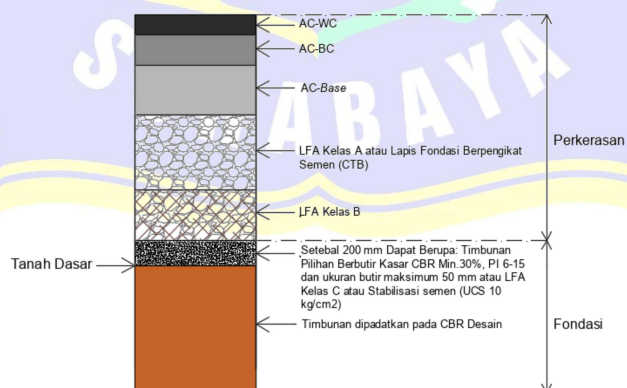
Gambar 2. 8 Perkerasan lentur *at grade*

Sumber : (Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, 2024)



Gambar 2. 9 Perkerasan lentur pada galian

Sumber : (Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, 2024)



Gambar 2. 10 Perkerasan lentur pada timbunan

Sumber : (Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, 2024)

2.12.3. Pemilihan Struktur Perkerasan

Penentuan jenis perkerasan dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain besarnya volume lalu lintas, umur rencana jalan, serta kondisi tanah dasar atau fondasi jalan. Ketentuan yang tercantum dalam dibawah ini bersifat sebagai pedoman awal dan tidak harus diterapkan secara kaku. Oleh karena itu, perencana perlu mempertimbangkan aspek keekonomian selama umur layanan jalan, keterbatasan teknis, serta kemudahan pelaksanaan di lapangan. Alternatif pemilihan jenis struktur perkerasan berdasarkan nilai ESA/CESAL disajikan seperti pada Tabel 2.6.

Tabel 2. 8 Pemilihan Jenis Perkerasan

Struktur Perkerasan	Bagan Desain	ESA/CESAL dalam 20 tahun				
		0-1	1-4	4-10	>10-30	>30
AC modifikasi	3, 3A, 3B	—	—	—	—	2
AC dengan CTB	3, 3A, 3B	—	—	—	2	—
AC modifikasi dengan CTB	3, 3A, 3B	—	—	—	—	2
AC dengan lapis fondasi agregat	3, 3A, 3B	—	1, 2	1, 2	2	—
HRS tipis di atas lapis fondasi agregat	4	2	2	—	—	—
Burda atau Burtu dengan lapis fondasi agregat	5	3	3	—	—	—
AC/HRS dengan lapis fondasi Soil Cement	6	2	2	—	—	—
AC/HRS dengan lapis fondasi agregat dan perbaikan tanah dasar (stabilisasi semen)	7	2	2	—	—	—
Perkerasan kaku dengan lalu lintas berat	8	—	—	—	2	2
Perkerasan kaku dengan lalu lintas rendah	8A	—	—	1, 2	—	—
Perkerasan tanpa penutup (Japat dan jalan kerikil)	9	1	—	—	—	—

Sumber : (Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, 2024)

Catatan:

Tingkat kesulitan:

- 1 - kontraktor kecil – medium;
- 2 - kontraktor besar dengan sumber daya yang memadai; dan
- 3 - membutuhkan keahlian dan tenaga ahli khusus – kontraktor spesialis Burtu/Burda.

2.12.4. Lalu Lintas

Salah satu parameter utama dalam analisis struktur perkerasan adalah data lalu lintas, karena data ini digunakan untuk menentukan besarnya beban lalu lintas rencana yang harus mampu ditahan oleh perkerasan selama umur layanannya. Perhitungan beban lalu lintas didasarkan pada volume kendaraan pada tahun dilakukannya survei, yang kemudian diproyeksikan ke masa mendatang sesuai dengan umur rencana jalan. Volume lalu lintas pada tahun awal perencanaan merupakan jumlah kendaraan yang melintas selama tahun pertama setelah perkerasan selesai dibangun atau dilakukan perkuatan. Elemen utama beban lalu lintas pada desain yaitu:

- a. Volume lalu lintas untuk setiap kendaraan
- b. Beban gandar kendaraan niaga ditetapkan dalam beban ekuivalen sumbu standar (ESAL/CESAL).

2.12.5. Data Kendaraan

Pengelompokan kendaraan yang digunakan dalam perencanaan perkerasan ditunjukkan pada Tabel jenis kendaraan. Beban gandar kendaraan penumpang dan kendaraan ringan sampai sedang tergolong rendah, sehingga tidak memberikan pengaruh berarti terhadap kerusakan struktur perkerasan jalan.

2.12.6. Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas

Faktor pertumbuhan lalu lintas harus berdasarkan data-data pertumbuhan series (*historical growth data*) atau formulasi korelasi dengan faktor pertumbuhan lain yang berlaku. Nilai referensi faktor pertumbuhan lalu lintas (i) untuk masing-masing wilayah disajikan seperti pada Tabel 2.7.

Tabel 2. 9 Faktor pertumbuhan lalu lintas (*i*)

Jenis Jalan	Jawa	Sumatera	Kalimantan	Rata-rata Indonesia
Arteri dan perkotaan	4,80	4,83	5,14	4,75
Kolektor <i>rural</i>	3,50	3,50	3,50	3,50
Jalan lokal	1,00	1,00	1,00	1,00

Sumber : (Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, 2024)

Pertumbuhan lalu lintas selama umur rencana dihitung dengan faktor pertumbuhan kumulatif (*Cumulative Growth Factor*):

$$R = \frac{(1+0,01 i)^{UR}-1}{0,01 i} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan :

R = Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas komulatif

i = Laju pertumbuhan lalu lintas tahunan (%)

UR = Umur rencana

2.12.7. Lalu Lintas pada Lajur Rencana

Lajur rencana adalah salah satu lajur lalu lintas dari suatu ruas jalan yang menampung lalu lintas kendaraan niaga (truk dan bus) paling besar. Beban lalu lintas pada lajur rencana dinyatakan dalam kumulatif beban gandar standar (ESA/CESAL) dengan memperhitungkan faktor distribusi arah (DD) dan faktor distribusi lajur (DL). Untuk jalan dua arah, faktor distribusi arah (DD) umumnya diambil 0,50 kecuali pada lokasi-lokasi yang jumlah kendaraan niaga cenderung lebih tinggi pada satu arah tertentu (Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, 2024). Nilai faktor distribusi lajur berdasarkan jumlah lajur tiap arah disajikan seperti pada Tabel 2.8.

Tabel 2. 10 Faktor distribusi lajur (DL)

Jumlah Lajur Tiap Arah	Kendaraan Niaga Pada Lajur Desain (%)
1	100
2	80

Tabel 2. 11 Faktor distribusi lajur (DL) (lanjutan)

3	60
4	50

Sumber : (Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, 2024)

2.12.8. Faktor Ekuivalen Beban (*Vehicle Damage Factor*)

Dalam perencanaan struktur perkerasan, beban lalu lintas diubah ke dalam satuan beban standar atau *Equivalent Standard Axle* (ESA) dengan menggunakan faktor ekuivalen beban yang dikenal sebagai *Vehicle Damage Factor* (VDF). VDF suatu kendaraan menunjukkan besarnya kontribusi kerusakan perkerasan yang ditimbulkan oleh seluruh kelompok sumbu kendaraan tersebut dalam satuan ESA. Melalui penggunaan VDF, berbagai jenis kendaraan dengan konfigurasi sumbu dan besaran beban yang berbeda dapat diseragamkan menjadi total beban lalu lintas dalam satuan ESA. Selanjutnya, analisis struktur perkerasan dilakukan berdasarkan akumulasi beban ESA pada lajur rencana selama umur layanan jalan.

Akurasi hasil perencanaan perkerasan sangat bergantung pada ketepatan perhitungan beban lalu lintas. Oleh karena itu, studi atau survei beban gandar yang direncanakan dan dilaksanakan dengan baik menjadi dasar utama dalam memperoleh nilai ESA yang andal. Apabila memungkinkan, survei beban gandar perlu dilakukan untuk meningkatkan keakuratan perencanaan.

Dalam perencanaan perkerasan lentur, beban lalu lintas aktual yang beragam perlu dikonversi ke dalam satuan beban sumbu standar ekuivalen menggunakan *Vehicle Damage Factor* (VDF). Nilai VDF mencerminkan tingkat kerusakan yang ditimbulkan oleh masing-masing jenis kendaraan niaga terhadap struktur perkerasan, sehingga akurasi data beban kendaraan menjadi sangat menentukan kualitas desain yang dihasilkan. Penggunaan alat *Weigh in Motion* (WIM) memungkinkan pencatatan beban sumbu kendaraan secara aktual di lapangan, yang kemudian diolah untuk mendapatkan nilai VDF per golongan kendaraan sebagai input utama dalam perhitungan beban sumbu standar kumulatif. Semakin akurat data beban yang diperoleh, semakin andal pula desain perkerasan yang dihasilkan dalam menahan beban lalu lintas sepanjang umur rencana yang ditetapkan. (Rebo Ule et al., 2025). Ketentuan sumber data beban gandar berdasarkan spesifikasi penyediaan prasarana jalan disajikan seperti pada Tabel 2.9.

Tabel 2. 12 Data beban gandar

Spesifikasi Penyediaan Prasarana Jalan	Sumber Data Beban Gandar
Jalan Bebas Hambatan*	1 atau 2
Jalan Raya	1 atau 2 atau 3
Jalan Sedang	2 atau 3
Jalan Kecil	2 atau 3

Sumber : (Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, 2024)

Nilai VDF kendaraan untuk wilayah Nusa Tenggara Timur, Maluku, Maluku Utara, Papua Barat, dan Papua disajikan seperti pada Tabel 2.10.

Tabel 2. 13 Nilai VDF kendaraan daerah Nusa Tenggara Timur – Maluku – Maluku Utara Papua Barat – Papua

Kondisi	Kelas Kendaraan														
		Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7A3	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7B3	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3	Gol 7C4
VDF4	Faktual	1,2	0,5	0,8	—	13,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Normal	1,2	0,5	0,4	—	4,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—
VDF5	Faktual	1,3	0,4	0,8	—	26,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Normal	1,3	0,4	0,3	—	6,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Sumber : (Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, 2024)

2.12.9. Beban Sumbu Standar Kumulatif (CESAL)

Beban sumbu standar kumulatif atau biasa disebut *cumulative standard axle load* (CESAL) merupakan jumlah kumulatif dari beban sumbu kendaraan pada lalu lintas desain pada jalur yang akan direncanakan selama umur rencana yang ditentukan sebagai berikut :

$$CESAL = (\Sigma LHR_{jk} \times VDF_{jk}) \times 365 \times DD \times DL \times R \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan :

- LHR_{jk} = Lintas harian rata – rata tiap jenis kendaraan niaga (satuan kendaraan perhari)
VDF_{jk} = Faktor ekuivalen beban (*vehicle damage factor*) tiap jenis kendaraan niaga
DD = Faktor distirbusi arah
DL = Faktor distribusi lajur

CESAL	= Kumulatif beban sumbu standar ekuivalen selama umur rencana
R	= Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif

2.12.10. Desain Pondasi Jalan

Dalam perencanaan perkerasan jalan, terdapat tiga faktor utama yang sangat mempengaruhi kinerja struktur perkerasan, yaitu karakteristik lalu lintas, kondisi tanah dasar, dan pengaruh air. Selain ketiga faktor tersebut, pada perkerasan yang dibangun di wilayah dengan kondisi tanah khusus atau bermasalah, seperti tanah gambut, tanah ekspansif, dan tanah lunak, sifat-sifat tanah setempat menjadi faktor yang sangat menentukan. Pada kondisi tersebut, pendekatan analisis tanah dasar secara umum sering kali tidak cukup untuk menghasilkan perkerasan dengan kinerja yang optimal, sehingga diperlukan penanganan dan pertimbangan teknis tambahan.

A. Persyaratan Umum Tanah Dasar

Tanah dasar perkerasan harus sesuai dengan manual desain perkerasan bina marga 2024 harus memenuhi kriteria sebagai berikut :

1. Tanah dasar perkerasan harus memenuhi kriteria berikut:
2. Harus mempunyai nilai CBR rendaman rencana minimum;
3. Tidak peka terhadap perubahan kadar air;
4. Dibentuk dengan benar, sesuai dengan bentuk geometrik jalan;
5. Ketebalan pemadatan harus menggunakan peralatan yang sesuai spesifikasi dan hasil
6. Kepadatannya memenuhi persyaratan; dan
7. Mampu mendukung beban lalu lintas pelaksanaan konstruksi.

B. Umur Rencana Fondasi Perkerasan

Umur rencana fondasi untuk jalan baru dan pelebaran minimum 40 (empat puluh) tahun dengan pertimbangan sebagai berikut:

1. Fondasi perkerasan tidak dapat ditingkatkan selama masa pelayanan, kecuali dengan cara rekonstruksi menyeluruh.
2. Perkerasan lentur dengan desain fondasi di bawah standar mungkin memerlukan penguatan dengan lapisan aspal tambahan berulang kali selama masa pelayanannya sehingga biaya total perkerasan (*life cycle cost*) menjadi lebih mahal dibandingkan dengan perkerasan yang didesain dengan baik.

3. Perkerasan kaku di atas tanah lunak dengan desain fondasi di bawah standar (*under design*) cenderung mengalami keretakan dini yang dalam kasus terburuk mungkin memerlukan penggantian pelat beton.

Persyaratan tebal minimum desain pondasi jalan disajikan seperti pada Tabel 2.11.

Tabel 2. 14 Desain pondasi jalan minimum

CBR Tanah Dasar (%)	Kelas Kekuatan Tanah Dasar	Uraian Struktur Fondasi	Perkerasan Lentur		Perkerasan Kaku
			Beban Lalu Lintas Pada Jalur Rencana Dengan Umur Rencana 40 Tahun (Juta ESA5)		
			<10	>10	
			Tebal Minimum Perbaikan Tanah Dasar (mm)		
5	SG5	Perbaikan tanah dengan material timbunan pilihan (CBR ≥ 10%)	200	200	200
4	SG4				
3	SG3		300	400	400
2,5	SG2,5			600	600
Kekuatan tanah dasar < 2,5% atau tanah lunak			Untuk tebal tanah lunak > 1 m harus ditangani dengan penanganan geoteknik, sedangkan untuk ketebalan ≤ 1 m dapat diganti tanah timbunan dengan tebal minimum yang sama dengan ketentuan dan berlaku untuk tanah SG2,5 Bagan Desain ini.		
Tanah ekspansif			Penanganan sesuai dengan kajian geoteknik terhadap besaran potensi pemuaian dengan ketebalan penutup tidak kurang dari 600 mm berupa material dengan potensi pemuaian tidak lebih besar dari 1,5%. Di atas lapis penutup tersebut harus ditambahkan lapis perbaikan SG2,5.		

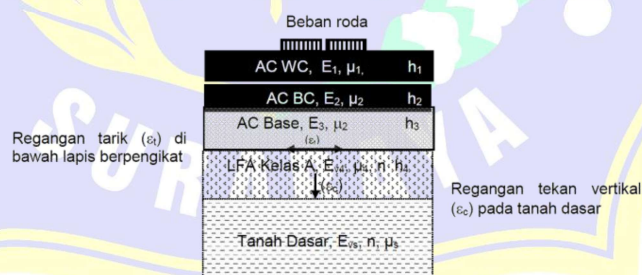
Catatan:

- Untuk perkerasan kaku dan perkerasan lentur bilamana tanah dasarnya masih berbutir halus maka harus dipasang lapisan setebal 200 mm berupa lapisan: timbunan pilihan berbutir kasar yang mempunyai CBR minimum 30% dengan PI 6 – 15 dan ukuran butir maksimum 50 mm atau LFA Kelas C atau dengan lapis stabilisasi semen (UCS 10 kg/cm²).
- Penanganan tanah ekspansif dapat mengacu pada Subbab 6.7 atau mengacu pada Pedoman Konstruksi dan Bangunan PUPR tentang Penanganan Tanah Ekspansif untuk Konstruksi Jalan PdT-10-2005-B, Pedoman Konstruksi dan Bangunan PUPR tentang Penanganan Tanah Ekspansif dengan Geomembran sebagai Penghalang Kelembaban Vertikal PdT-11-2004-B dan *Austroroads Guide to Pavement Technology Part 4I Earthworks Materials* AGPT04I-09.

Sumber : (Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, 2024)

2.12.11. Desain Perkerasan Lentur

Tipikal sistem perkerasan lentur berdasarkan pendekatan mekanistik disajikan seperti pada Gambar 2.11.



Gambar 2. 11 Tipikal sistem perkerasan

Sumber : (Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, 2024)

Keterangan :

E_i = Modulus Elastis lapisan i

μ = rasio possion lapis

Untuk materi anisotropik

E_{vi} = modulus elastik arah vertikal lapis i

E_{hi} = modulus elastik arah horizontal lapis i

N = derajat anistropik (E_v/E_h)

μ_i = rasio Poisson (dalam semua arah)

f_i = modulus geser

2.12.12. Desain Perkerasan Lentur Beraspal

Basis dari prosedur desain perkerasan lentur dengan campuran beraspal yang digunakan pada sub bab ini adalah karakteristik mekanik material dan analisis struktur perkerasan secara mekanistik. Metode ini menghubungkan masukan berupa beban roda, struktur perkerasan dan sifat mekanik material, dengan keluaran berupa respons perkerasan terhadap beban roda seperti tegangan, regangan atau lendutan.

2.12.13. Desain Perkerasan Lentur Dengan CTB

Desain perkerasan dengan CTB mengacu pada tabel dibawah ini :

A. Desain dengan 150 mm CTB

Bagan desain perkerasan lentur dengan lapis fondasi 150 mm CTB disajikan seperti pada Tabel 2.12.

Tabel 2. 15 Bagan desain dengan 150 mm CTB

Bagan Desain-3(1) Desain perkerasan lentur dengan 150 mm CTB (aspal pen 60/70 dan PG70)										
	STRUKTUR PERKERASAN									
	F(1) 1	F(1) 2	F(1) 3	F(1) 4	F(1) 5	F(1) 6	F(1) 7	F(1) 8	F(1) 9	F(1) 10
	Untuk beban rencana < 30 juta ESA5 menggunakan Aspal Pen 60-70				Untuk beban rencana $\geq$ 30 juta ESA5 direkomendasikan menggunakan Aspal PG70 ⁽³⁾					
Beban rencana 20 tahun (10 ⁶ ESA5)	> 1 - 6	> 6 - 10	> 10 - 20	> 20 - 30	> 30 - 40	> 40 - 50	> 50 - 80	> 80 - 100	> 100 - 150	> 150 - 200
Jenis permukaan berpengikat	AC									
Jenis lapis fondasi	Cement Treated Base (CTB)									
	Tebal Perkerasan (mm)									
AC WC	40	40	50	40	40	40	40	50	40	40
AC BC	60	75	80	65	60	60	80	80	60	60
AC Base ⁽¹⁾	-	-	-	70	-	-	-	-	-	-
CTB	-	-	-	-	90	100	100	100	75	80
Lapis Fondasi Agregat Kelas B	-	-	-	-	-	-	-	-	75	90
Timbunan Pilihan Berbutir Kasar atau LFA Kelas C atau Stabilisasi Semen ⁽²⁾	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200

(1) Khusus untuk AC Base dengan lalu lintas rencana diatas 30 juta ESA5 dapat tidak menggunakan aspal PG70.

(2) Dapat menggunakan timbunan pilihan butir kasar yang mempunyai CBR minimum 30% dengan PI 6 - 15 dan ukuran butir maksimum 50 mm atau LFA Kelas C atau stabilisasi semen (UCS 10 kg/cm²). Bilamana untuk ketiga jenis material atau alat yang diperlukan untuk stabilisasi tidak bisa terpenuhi, maka lapisan ini dapat diganti menjadi LFA Kelas B dengan ketebalan 200 mm bila harganya sama atau lebih rendah dari ketiga material tersebut.

(3) Khusus untuk AC WC dan AC BC.

Sumber : (Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, 2024)

B. Desain dengan 200 mm CTB

Bagan desain perkerasan lentur dengan lapis fondasi 200 mm CTB disajikan seperti pada Tabel 2.13.

Tabel 2. 16 Bagan desain dengan 200 mm CTB

Bagan Desain-3(2) Desain perkerasan lentur dengan 200 mm CTB (aspal pen 60/70 dan PG70)

	STRUKTUR PERKERASAN							
	F(2) 1	F(2) 2	F(2) 3	F(2) 4	F(2) 5	F(2) 6	F(2) 7	F(2) 8
	Untuk beban rencana < 30 juta ESA5 menggunakan Aspal Pen 60-70				Untuk beban rencana ≥ 30 juta ESA5 direkomendasikan menggunakan Aspal PG70 ⁽¹⁾			
Beban rencana 20 tahun (10 ⁶ ESA5)	> 1 - 8	> 8 - 15	> 15 - 30	> 30 - 50	> 50 - 75	> 75 - 95	> 95 - 150	> 150 - 200
Jenis permukaan berpengikat	AC							
Jenis lapis fondasi	Cement Treated Base (CTB)							
	Tebal Perkerasan (mm)							
AC WC	40	50	50	40	40	40	50	40
AC BC	60	70	80	70	60	70	80	60
	-	-	-	70	-	-	-	-
AC Base ⁽¹⁾	-	-	-	-	100	100	100	75
	-	-	-	-	-	-	-	75
CTB	200	200	200	200	200	200	200	200
Lapis Fondasi Agregat Kelas B	150	150	150	150	150	150	150	150
Timbunan Pilihan Berbutir Kasar atau LFA Kelas C atau Stabilisasi Semen ⁽²⁾	200	200	200	200	200	200	200	200

(1) Khusus untuk AC Base dengan lalu lintas rencana diatas 30 juta ESA5 dapat tidak menggunakan aspal PG70.
(2) Dapat menggunakan timbunan pilihan butir kasar yang mempunyai CBR minimum 30% dengan PI 6 - 15 dan ukuran butir maksimum 50 mm atau LFA Kelas C atau stabilisasi semen (UCS 10 kg/cm²). Bilamana untuk ketiga jenis material atau alat yang diperlukan untuk stabilisasi tidak bisa terpenuhi, maka lapisan ini dapat diganti menjadi LFA Kelas B dengan ketebalan 200 mm bila harganya sama atau lebih rendah dari ketiga material tersebut.
(3) Khusus untuk AC WC dan AC BC.

Sumber : (Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, 2024)

C. Desain dengan 250 mm CTB

Bagan desain perkerasan lentur dengan lapis fondasi 250 mm CTB disajikan seperti pada Tabel 2.14

Tabel 2. 17 Bagan desain dengan 250 mm CTB

Bagan Desain-3(3) Desain perkerasan lentur dengan 250 mm CTB (aspal pen 60/70 dan PG70)

	STRUKTUR PERKERASAN						
	F(3) 1	F(3) 2	F(3) 3	F(3) 4	F(3) 5	F(3) 6	F(3) 7
	Untuk beban rencana < 30 juta ESA5 menggunakan Aspal Pen 60-70				Untuk beban rencana ≥ 30 juta ESA5 direkomendasikan menggunakan Aspal PG70 ⁽¹⁾		
Beban rencana 20 tahun (10 ⁶ ESA5)	> 1 - 9	> 9 - 15	> 15 - 30	> 30 - 50	> 50 - 75	> 75 - 110	> 110 - 200
Jenis permukaan berpengikat	AC						
Jenis lapis fondasi	Cement Treated Base (CTB)						
	Tebal Perkerasan (mm)						
AC WC	40	40	50	40	40	40	40
AC BC	60	70	80	60	70	65	80
	-	-	-	70	-	-	-
AC Base ⁽¹⁾	-	-	-	-	80	100	100
	-	-	-	-	-	-	-
CTB	250	250	250	250	250	250	250
Lapis Fondasi Agregat Kelas B	150	150	150	150	150	150	150
Timbunan Pilihan Berbutir Kasar atau LFA Kelas C atau Stabilisasi Semen ⁽²⁾	200	200	200	200	200	200	200

(1) Khusus untuk AC Base dengan lalu lintas rencana diatas 30 juta ESA5 dapat tidak menggunakan aspal PG70.
(2) Dapat menggunakan timbunan pilihan butir kasar yang mempunyai CBR minimum 30% dengan PI 6 - 15 dan ukuran butir maksimum 50 mm atau LFA Kelas C atau stabilisasi semen (UCS 10 kg/cm²). Bilamana untuk ketiga jenis material atau alat yang diperlukan untuk stabilisasi tidak bisa terpenuhi, maka lapisan ini dapat diganti menjadi LFA Kelas B dengan ketebalan 200 mm bila harganya sama atau lebih rendah dari ketiga material tersebut.
(3) Khusus untuk AC WC dan AC BC.

Sumber : (Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, 2024)

D. Desain dengan 300 mm CTB

Bagan desain perkerasan lentur dengan lapis fondasi 300 mm CTB disajikan seperti pada Tabel 2.15.

Tabel 2. 18 Bagan desain dengan 300 mm CTB

Bagan Desain-3(4) Desain perkerasan lentur dengan 300 mm CTB (aspal pen 60/70 dan PG70)								
Beban rencana 20 tahun (10 ⁶ ESA5)	STRUKTUR PERKERASAN							
	F(4) 1	F(4) 2	F(4) 3	F(4) 4	F(4) 5	F(4) 6	F(4) 7	F(4) 8
	Untuk beban rencana < 30 juta ESA5 menggunakan Aspal Pen 60-70			Untuk beban rencana ≥ 30 juta ESA5 direkomendasikan menggunakan Aspal PG70 ⁽¹⁾				
> 1 - 10	> 10 - 17	>17 - 30	> 30 - 40	>40 - 60	>60 - 90	>90 - 150	>150 - 200	
Jenis permukaan pengikat	AC							
Jenis lapis fondasi	Cement Treated Base (CTB)							
Tebal Perkerasan (mm)								
AC WC	40	40	50	50	40	50	50	50
AC BC	60	70	75	80	60	60	60	75
AC Base ⁽¹⁾	-	-	-	-	70	-	-	-
	-	-	-	-	-	80	100	100
CTB	300	300	300	300	300	300	300	300
Lapis Fondasi Agregat Kelas B	150	150	150	150	150	150	150	150
Timbunan Pilihan Berbutir Kasar atau LFA Kelas C atau Stabilisasi Semen ⁽²⁾	200	200	200	200	200	200	200	200

(1) Khusus untuk AC Base dengan lalu lintas rencana diatas 30 juta ESA5 **dapat** tidak menggunakan aspal PG70.

(2) Dapat menggunakan timbunan pilihan berbutir kasar yang mempunyai CBR minimum 30% dengan PI 6 - 15 dan ukuran butir maksimum 50 mm atau LFA Kelas C atau stabilisasi semen (UCS 10 kg/cm²). Bilamana untuk ketiga jenis material atau alat yang diperlukan untuk stabilisasi tidak bisa terpenuhi, maka lapisan ini dapat diganti menjadi LFA Kelas B dengan ketebalan 200 mm bila harganya sama atau lebih rendah dari ketiga material tersebut.

(3) Khusus untuk AC WC dan AC BC.

Sumber : (Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, 2024)

2.12.14. Desain Perkerasan Lentur Dengan Lapis Fondasi Agregat

Bagan desain perkerasan lentur dengan lapis fondasi agregat disajikan seperti pada Tabel 2.16.

Tabel 2. 19 Bagan desain dengan lapis fondasi agregat

Bagan Desain-3A Desain perkerasan lentur – aspal dengan lapis fondasi agregat (aspal pen 60/70 dan PG70)									
Beban rencana 20 tahun (10 ⁶ ESA5)	STRUKTUR PERKERASAN								
	FFF(1) 1	FFF(1) 2	FFF(1) 3	FFF(1) 4	FFF(1) 5	FFF(1) 6	FFF(1) 7	FFF(1) 8	FFF(1) 9
	Untuk beban rencana < 30 juta ESA5 menggunakan Aspal Pen 60-70					Untuk beban rencana ≥ 30 juta ESA5 direkomendasikan menggunakan Aspal PG70 ⁽¹⁾			
	< 2	> 2 - 5	> 5 - 10	> 10 - 15	> 15 - 30	> 30 - 50	> 50 - 100	> 100 - 150	> 150 - 200
Tebal Perkerasan (mm)									
AC WC	60 ⁽²⁾	40	40	40	40	40	40	50	40
AC BC	-	65	75	75	60	60	75	80	60
AC Base ⁽³⁾	-	80	80	-	-	-	-	-	-
Lapis Fondasi Agregat Kelas A ⁽⁴⁾	-	-	-	100	80	85	100	100	80
Lapis Fondasi Agregat Kelas B	-	-	-	-	80	100	100	100	80
Timbunan Pilihan Berbutir Kasar atau LFA Kelas C atau Stabilisasi Semen ⁽⁵⁾	-	-	-	-	-	-	-	-	90
Lapis Fondasi Agregat Kelas A ⁽⁴⁾	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Lapis Fondasi Agregat Kelas B	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Timbunan Pilihan Berbutir Kasar atau LFA Kelas C atau Stabilisasi Semen ⁽⁵⁾	-	-	200	200	200	200	200	200	200

(1) Khusus untuk AC WC dan AC BC.

(2) Tumbukan *Marshall* sebanyak 2 x 50 tumbukan.

(3) Khusus untuk AC Base dengan lalu lintas rencana di atas 30 juta ESA5 **dapat** tidak menggunakan aspal PG70.

(4) Untuk perkerasan dengan jumlah lajur lebih dari 2 per arahnya, tebal lapis fondasi agregat kelas A minimal 300 mm.

(5) Dapat menggunakan timbunan pilihan butir kasar yang mempunyai CBR minimum 30% dengan PI 6 - 15 dan ukuran butir maksimum 50 mm atau LFA Kelas C atau stabilisasi semen (UCS 10 kg/cm²). Bilamana untuk ketiga jenis material atau alat yang diperlukan untuk stabilisasi tidak bisa terpenuhi, maka lapisan ini dapat diganti menjadi LFA Kelas B dengan ketebalan 200 mm bila harganya sama atau lebih rendah dari ketiga material tersebut.

Sumber : (Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, 2024)

Penyesuaian tebal lapis timbunan pada Bagan Desain-3B disajikan seperti pada Tabel 2.17.

Tabel 2. 20 .Bagan Desain-3B Penyesuaian tebal lapis timbunan

Bagan Desain-3B Penyesuaian tebal lapis timbunan pilihan berbutir kasar atau LFA kelas C atau stabilisasi semen (hanya untuk bagan desain-3A) beban rencana 20 tahun > 5 juta ESA5

		Tebal (mm)
Subgrade $6 < \text{CBR} < 10$	Timbunan Pilihan Berbutir Kasar atau LFA Kelas C atau Stabilisasi Semen	200
Subgrade $10 \leq \text{CBR} < 30$	Timbunan Pilihan Berbutir Kasar atau LFA Kelas C atau Stabilisasi Semen	150
Subgrade $\text{CBR} \geq 30$	Timbunan Pilihan Berbutir Kasar atau LFA Kelas C atau Stabilisasi Semen	-

Sumber : (Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, 2024)

2.12.15. Desain Perkerasan Lentur Dengan HRS

Bagan desain perkerasan lentur dengan *Hot Rolled Sheet* (HRS) disajikan seperti pada Tabel 2.18.

Tabel 2. 21 Bagan desain dengan HRS

Bagan Desain-4 Desain perkerasan lentur dengan HRS¹

Kumulatif beban sumbu 20 tahun pada lajur rencana (10^6 CESA5)	FF1 < 0,5	0,5 ≤ FF2 ≤ 4,0
Jenis permukaan	HRS atau Penetrasi Makadam	HRS ²
Struktur perkerasan	Tebal lapisan (mm)	
HRS-WC	50	30
HRS-Base	-	35
LFA Kelas A	150	250
LFA Kelas B atau kerikil alam atau lapis distabilisasi dengan CBR > 10% ³	150	150

Sumber : (Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, 2024)

Catatan:

- 1 Bagan Desain-4 merupakan alternatif untuk daerah yang HRS menunjukkan riwayat kinerja yang baik dan daerah yang dapat menyediakan material yang sesuai (*gap graded mix*).
- 2 HRS tidak sesuai untuk jalan dengan tanjakan curam dan daerah perkotaan dengan beban lebih besar dari 2 juta ESA5.
- 3 Kerikil alam dengan atau material stabiisasi dengan CBR > 10% dapat merupakan pilihan yang paling ekonomis jika material dan sumberdaya penyedia jasa yang mumpuni tersedia.

2.12.16. Desain Perkerasan Lentur Dengan Lapis Pondasi Tanah Semen

Bagan desain perkerasan lentur dengan lapis pondasi tanah semen menggunakan metode stabilisasi disajikan seperti pada Tabel 2.19.

Tabel 2. 22 Bagan desain dengan stabilisasi

Bagan Desain-6 Perkerasan dengan stabilisasi tanah semen (*soil cement*)
(untuk area dengan sumber agregat atau kerikil terbatas)

STRUKTUR PERKERASAN ¹			
SC1	SC2	SC3	
Beban Sumbu 20 tahun pada lajur desain (ESA4 x 10 ⁶)			
< 0,1	0,1- 0,5	> 0,5 – 4	
Ketebalan lapis perkerasan (mm)			
HRS WC, AC WC	50*		
Lapis Fondasi Tanah Semen Target UCS 2,4 MPa	160	220	300

* 50 mm berlaku untuk HRS dan AC-WC (pada desain 2x50 tumbukan *marshall*)

Sumber : (Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, 2024)

Bagan desain perkerasan lentur dengan metode improve subgrade disajikan seperti pada Tabel 2.20.

Tabel 2. 23 Bagan desain dengan *improve subgrade*

Bagan Desain-7 Perkerasan dengan *improve subgrade* stabilisasi semen
(untuk area dengan sumber agregat atau kerikil terbatas)

STRUKTUR PERKERASAN ¹			
SC1	SC2	SC3	
Beban Sumbu 20 tahun pada lajur desain (ESA4 x 10 ⁶)			
< 0,1	0,1- 0,5	> 0,5 – 4	
Ketebalan lapis perkerasan (mm)			
HRS WC, AC WC	50*		
Lapis Fondasi Agregat Kelas A	160	220	300
Lapis Fondasi Agregat Kelas B	110	150	200
Stabilisasi tanah asli hingga mencapai CBR ekuivalen 6%	160	200	260

* 50 mm berlaku untuk HRS dan AC-WC (pada desain 2x50 tumbukan *marshall*)

Sumber : (Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, 2024)

2.12.17. Desain Bahu Perkerasan Lentur

Desain bahu jalan harus memiliki kekuatan struktur paling minimal 10 % dari kekuatan struktur pada lajur lalu lintas. Struktur fondasi yang digunakan harus dibuat menerus dari awal jalur sampai berakhirnya jalur.

2.13. Perencanaan Geometrik Jalan Inspeksi

Dalam merencanakan sebuah jalan inspeksi, diperlukan juga beberapa desain selanjutnya berupa geometrik jalan untuk memenuhi persyaratan keselamatan jalan sesuai dengan Pedoman Perencanaan Geometrik Jalan Tahun 2021.

2.13.1. Kriteria Desain Utama

Kriteria desain utama merupakan parameter dalam perencanaan geometrik jalan yang ditetapkan pada awal desain dan menjadi dasar untuk perhitungan-perhitungan lainnya. Parameter kriteria desain utama geometrik jalan sesuai Pedoman Desain Geometrik Jalan Tahun 2021 disajikan seperti pada Tabel 2.21.

Tabel 2. 24 Tabel kriteria desain utama

Elemen Kriteria desain utama		JBH		Jalan Antarkota			Jalan Perkotaan	
Rentang V_D , lihat Tabel 5-1, Km/Jam	Datar	80 - 120		15 - 100			10 - 60	
	Bukit	70 - 110		15 - 90				
	Gunung	60 - 100		15 - 80				
Kelas penggunaan jalan		I	I	II	III	JLR	I, II, III	
Kelandaian memanjang, G , paling tinggi, %	Datar	4	6	6	6	6	5	
	Bukit	5	8	8	8	10		
	Gunung	6	8	10	12	15		
Superelevasi (e), %, paling tinggi		8						
Kekesatan melintang, paling tinggi, (f_{maks})		Lihat diagram faktor kekesatan melintang sebagai fungsi dari kecepatan (Gambar 5-15)						
Kekesatan memanjang		0,35 untuk MP dan 0,29 untuk Truk (<i>lihat sub-bab 5.3.3</i>)						
R_{min} lengkung Horizontal		$R_{min} = \frac{V_D^2}{127(f_{max} + e_{max})}$						
R_{min} lengkung Vertikal Cembung		$R_{min} = f\{V_D; K\}$; nilai K dapat dilihat dari Tabel 5-55, Tabel 5-56, dan						
R_{min} lengkung vertikal cekung		Tabel 5-57						

Keterangan: K=nilai kontrol untuk lengkung vertikal cekung atau lengkung vertikal cembung

Sumber : (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2021)

2.13.2. Kecepatan Rencana

Kecepatan merupakan besaran yang menggambarkan perbandingan antara jarak tempuh kendaraan dengan waktu yang diperlukan, biasanya dinyatakan dalam satuan kilometer per jam (km/jam). Sementara itu, kecepatan rencana (*design speed*) adalah kecepatan yang dijadikan acuan dalam proses perencanaan geometrik jalan dan berkaitan erat dengan kondisi fisik jalan yang memengaruhi perilaku kendaraan saat beroperasi. (Raharjo, 2022). Pemilihan kecepatan rencana yang lebih tinggi secara langsung berpengaruh terhadap kenaikan biaya pembangunan jalan. Hal ini terjadi karena beberapa faktor berikut:

- Radius tikungan horizontal harus dibuat lebih besar agar kendaraan dapat melaju dengan aman, yang pada akhirnya memerlukan lahan pembebasan yang lebih luas.

- b. Kemiringan memanjang (*grade*) perlu dibuat lebih landai untuk menyesuaikan dengan kecepatan tinggi, sehingga sering kali dibutuhkan struktur tambahan seperti jembatan atau terowongan guna mempertahankan elevasi jalan.
- c. Peningkatan kecepatan juga memengaruhi dimensi elemen geometrik lainnya, seperti lebar bahu, lebar lajur lalu lintas, serta jarak pandang, yang semuanya berkontribusi terhadap peningkatan total biaya konstruksi.

2.13.3. Kelas Jalan

Berdasarkan Pedoman Desain Geometrik Jalan Tahun 2021, kelas jalan dikelompokkan menjadi dua bagian, yaitu berdasarkan penggunaan jalan dan kelancaran lalu lintas angkutan jalan dan spesifikasi penyediaan prasarana jalan (SPPJ). Berikut komponen dari masing-masing kelompok kelas jalan di atas:

a. Penggunaan jalan dan kelancaran lalu lintas angkutan jalan :

- Jalan kelas I
- Jalan kelas II
- Jalan kelas III
- Jalan khusus

b. spesifikasi penyediaan prasarana jalan (SPPJ) :

- Jalan bebas hambatan (JHB)
- Jalan raya (JRY)
- Jalan sedang (JSD)
- Jalan kecil (JKC)

Pengelompokan fungsi, muatan sumbu, dan dimensi kendaraan pada setiap kelas jalan disajikan seperti pada Tabel 2.22.

Tabel 2. 25 kelas jalan sesuai dengan penggunaannya

Kelas Jalan	Fungsi Jalan	Lebar Kendaraan	Panjang Kendaraan	Tinggi Kendaraan	Muatan Sumbu Terberat(MST)
Kelas I	Arteri, Kolektor	$\leq 2,55$ m	$\leq 18,0$ m	$\leq 4,2$ m	10 Ton
Kelas II	Arteri, Kolektor, Lokal, dan Lingkungan	$\leq 2,55$ m	$\leq 12,0$ m	$\leq 4,2$ m	8 Ton

Tabel 2. 26 kelas jalan sesuai dengan penggunaanya (lanjutan)

Kelas		$\leq 2,2$ m	$\leq 9,0$ m	$\leq 3,5$ m	8 Ton
III					
Kelas	Arteri	$> 2,55$ m	$> 18,0$ m	$> 4,2$ m	> 10 Ton
Khusus					

Sumber : (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2021)

2.13.4. Klasifikasi Medan

Medan jalan dimana jalan dibangun diklasifikasikan. Masing-masing klasifikasi medan tersebut mempunyai ciri-ciri, baik secara bentuk fisik unsur geometrik maupun secara operasional dari Pengguna Jalan, dan ciri-ciri tersebut saling sinergi satu dengan lainnya. Dalam tahap perancangan awal jalan, kondisi medan atau topografi akan sangat memengaruhi penentuan alinemen horizontal maupun vertikal, serta kecepatan rencana yang digunakan. Oleh sebab itu, karakteristik topografi jalur perlu diklasifikasikan terlebih dahulu, Klasifikasi medan jalan berdasarkan persentase kemiringan medan disajikan seperti pada Tabel 2.23.

Tabel 2. 27 klasifikasi medan jalan

No	Jenis Medan	Notasi	Kemiringan Medan*) %
1	Datar	D	< 10
2	Bukit	B	10 -25
3	Gunung	G	> 25

Sumber : (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2021)

Klasifikasi medan diperoleh dari perhitungan kelandaian rata-rata pada sejumlah titik patok sepanjang ruas jalan yang ditinjau, di mana medan dikategorikan sebagai datar apabila kelandaian rata-rata kurang dari 10% sesuai ketentuan Pedoman Desain Geometrik Jalan (PDGJ) 2021. Penetapan kecepatan rencana dan klasifikasi medan yang tepat menjadi dasar bagi seluruh perhitungan parameter geometrik jalan selanjutnya. (Risno et al., 2025).

2.13.5. Alinemen Horizontal

Alinemen horizontal merupakan salah satu parameter yang sangat penting dalam perencanaan geometrik jalan, langkah ini berkaitan dengan lengkungan dan garis lurus di sepanjang jalan rencana. Alinyemen horizontal juga mencakup pemilihan radius lengkungan, panjang lengkungan untuk memastikan kenyamanan dan keselamatan pengguna jalan.

Alinemen horizontal terdiri dari garis lurus (trase jalan) dan desain tikungan rencana. Desain tikungan merupakan bagian dari perencanaan alinemen horizontal yang berfungsi untuk menghubungkan dua ruas jalan lurus dengan arah berbeda agar kendaraan dapat berbelok secara aman, nyaman, dan efisien. Dalam perencanaan geometrik jalan, tikungan harus dirancang sedemikian rupa agar gaya sentrifugal yang dialami kendaraan saat berbelok dapat dikendalikan, sehingga tidak menyebabkan kendaraan kehilangan kestabilan. Menurut Departemen Pekerjaan Umum (SNI 7392:2008 tentang Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota), desain tikungan meliputi penentuan jenis tikungan (*spiral-circle-spiral*, *circle*, atau *spiral-spiral*), radius lengkung, superelevasi, dan pelebaran jalur yang sesuai dengan kecepatan rencana dan klasifikasi medan.

A. Jari – jari lengkungan

Dalam perencanaan alinemen horizontal, besarnya radius tikungan sangat dipengaruhi oleh nilai superelevasi (e), koefisien gesekan melintang (f), serta kecepatan rencana (V) yang digunakan. Ketiga parameter ini saling berkaitan dalam menentukan tingkat kenyamanan dan keamanan kendaraan saat melalui tikungan. Oleh karena itu, terdapat batas radius minimum yang harus dipenuhi untuk kondisi superelevasi maksimum dan koefisien gesekan melintang maksimum. Nilai radius minimum tikungan tersebut dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$R_{min} = \frac{Vd^2}{127(E_{max} + f_{max})} \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan :

R_{min} : Jari – jari tikungan minimum (m)

Vd : Kecepatan rencana (km/j)

E_{max} : Superelevasi paling besar

F_{max} : kekesatan melintang paling tinggi

Nilai jari-jari tikungan minimum untuk masing-masing kecepatan rencana disajikan seperti pada Tabel 2.24.

Tabel 2. 28 Panjang jari – jari minimum

Vd (km/jam)	120	100	80	60	50	40	30	20
Jari jari minimum, Rmin(m)	600	370	210	110	80	50	30	15

Sumber : (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2021)

B. Lengkung Peralihan (Ls)

Lengkung peralihan merupakan bagian dari alinemen horizontal yang berfungsi untuk menjaga stabilitas kendaraan saat memasuki atau meninggalkan tikungan dengan perubahan arah yang tajam. Dengan adanya lengkung ini, kendaraan dapat beradaptasi secara bertahap terhadap gaya sentrifugal sehingga tetap berada pada lajur pergerakannya tanpa kehilangan kendali. Bentuk lengkung peralihan umumnya menggunakan spiral atau parabola, sedangkan panjang lengkung peralihan (Ls) ditentukan berdasarkan beberapa pertimbangan teknis berikut:

1. Mengatur agar perubahan gaya sentrifugal yang bekerja pada kendaraan terjadi secara bertahap, sehingga tidak menimbulkan guncangan mendadak saat memasuki tikungan.
2. Berfungsi sebagai zona transisi kemiringan perkerasan, di mana kemiringan jalan mulai disesuaikan untuk menyeimbangkan pengaruh gaya sentrifugal.
3. Menjadi bagian awal perubahan lebar perkerasan, yang diperlukan untuk menampung lintasan kendaraan saat melakukan manuver di tikungan.
4. Membantu pengemudi menjaga posisi kendaraan tetap pada lajunya, sehingga manuver berbelok dapat dilakukan dengan lebih aman dan terkendali.

Adapun perhitungan dalam menghitung komponen dalam lengkung peralihan sebagai berikut:

1. Waktu tempuh maksimum di lengkung peralihan

$$Ls = \frac{V_r}{3,6} T \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan :

T : waktu tempuh pada lengkung peralihan

Vr : kecepatan rencana (km/jam)

2. Berdasarkan antisipasi gaya sentrifugal

$$L_s = 0,022 \cdot \frac{V_r^3}{RC} - 2,727 \cdot \frac{V_r \cdot e}{c} \dots \dots \dots (2.5)$$

Keterangan :

- V_r : kecepatan rencana (km/jam)
 E : superelevasi maksimum
 C : Perubahan percepatan sentrifugal

3. Berdasarkan tingkat pencapaian perubahan kelandaian

$$L_s = \frac{(e_m - e_n)}{3,6 \cdot R_e} \times V_r \dots \dots \dots (2.6)$$

Keterangan :

- V_r : kecepatan rencana (km/jam)
 e_m : superelevasi maksimum
 e_n : superelevasi minimum
 R_e : tingkat pencapaian perubahan kemiringan melintang (m/m/detik). Sebagai berikut :
 Untuk $V_r \leq 70$ km/jam Untuk $V_r \geq 80$ km/jam
 $r_{e \text{ mak}} = 0,035$ m/m/det $r_{e \text{ mak}} = 0,025$ m/m/det

C. Pelebaran Tikungan

Pelebaran pada tikungan bertujuan untuk menjaga konsistensi geometrik jalan, sehingga kondisi operasional kendaraan saat berbelok tetap seimbang dengan kondisi pada jalan lurus. Penambahan lebar jalan di bagian tikungan ini dilakukan dengan mempertimbangkan beberapa faktor penting, seperti karakteristik kendaraan, kecepatan rencana, serta jari-jari tikungan yang digunakan. Pelebaran yang lebih kecil dari 0.6 meter dapat diabaikan. (Raharjo, 2022). Pelebaran jalan di tikungan mempertimbangkan kesulitan pengemudi agar tetap di jalurnya dan Penambahan lebar (ruang) lajur yang dipakai saat kendaraan melakukan gerakan melingkar. Besaran pelebaran yang dibutuhkan tergantung pada:

- Radius tikungan
- Lebar lajur pada jalan lurus
- Panjang dan lebar kendaraan

d. Ruang bebas kendaraan.

Pelebaran tikungan sesuai dengan radius rencana disajikan pada tabel 2.25 berikut.

Tabel 2. 29 Pelebaran tikungan per lajur untuk kendaraan desain

Radius (m)	Pelebaran tikungan untuk Truk atau Bus Tunggal (m)	Pelebaran tikungan untuk Truk Semi-Trailer (m)
30	-	-
40	1.03	-
50	0.82	-
60	0.71	1.27
70	0.59	1.03
80	0.52	0.91
90	0.46	0.81
100	0.41	0.71
120	0.36	0.63
140	0.32	0.56
160	0.28	0.49
180	0.24	0.42
200	-	0.35
250	-	0.29
300	-	0.23

Sumber : (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2021)

Nilai pergeseran di tikungan ini dapat dihitung menggunakan persamaan dibawah ini :

$$p = \frac{L_s^2}{24RC} \dots \dots \dots (2.7)$$

Keterangan :

p : Pergeseran (m)

Ls : Panjang lengkung peralihan

Rc : Radius busur lingkaran rencana

Penentuan jenis lengkung horizontal pada suatu tikungan dilakukan dengan menghitung nilai pergeseran (p) terhadap garis lurus. Apabila nilai $p \geq 0,25$ m dan sudut defleksi (Δ) $\geq 10^\circ$, maka tikungan tersebut diklasifikasikan sebagai tipe *Spiral-Circle-Spiral* (SCS). Sebaliknya, apabila nilai $p < 0,25$ m dan sudut defleksi $\Delta \leq 10^\circ$, maka tikungan tersebut dapat didesain menggunakan tipe *Full Circle* (FC), yaitu lengkung busur lingkaran sederhana tanpa lengkung

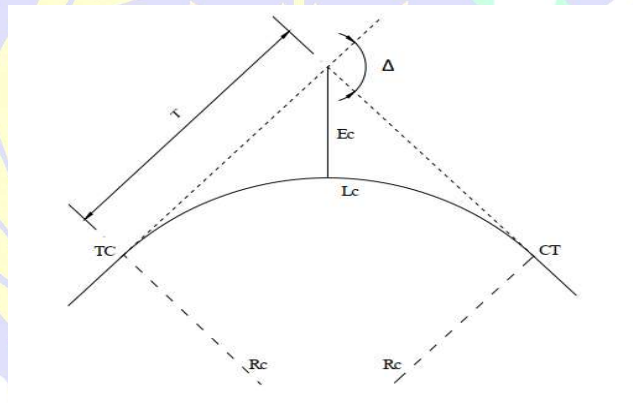
peralihan. Penggunaan tipe *Full Circle* hanya diperbolehkan pada lengkung dengan radius besar, karena superelevasi yang dibutuhkan harus $\leq 3\%$ agar keselamatan dan kenyamanan pengguna jalan tetap terpenuhi meskipun pada kecepatan kendaraan yang tinggi. (Neving et al., 2021)

D. Jenis Tikungan

Adapun ada beberapa jenis tikungan yang digunakan untuk desain jalan.

1. Bentuk lengkung *full – circle*

Full Circle (FC) yaitu tikungan yang berbentuk busur lingkaran secara penuh, tikungan ini memiliki satu titik lingkaran dengan jari-jari yang seragam. Secara mendasar, full circle dibagi menjadi 2 (dua), yaitu full circle tanpa dan dengan perubahan kemiringan melintang. Full circle merupakan jenis tikungan yang terdiri dari bagian suatu lingkaran saja. Bentuk tikungan jenis *Full Circle* disajikan seperti pada Gambar 2.12.



Gambar 2. 12 bentuk tikungan *full – circle*

Sumber : (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2021)

Keterangan gambar :

- PI : Titik pertemuan tikungan / Nomor station (poin of interaction)
- T : Jarak antara TC ke PI (meter / didapat dari perhitungan)
- Tc : Jarak antara TC dan PI / Tangen Circle (meter / didapat dari perhitungan)
- Ec : Jarak PI ke lengkung circle (meter / didapat dari perhitungan)
- Lc : Panjang bagian tikungan (meter / didapat dari perhitungan)
- Rc : Jari-jari tikungan / sudut tangen (meter)
- Δ / β : Sudut tangen (0)

Adapun perhitungan dalam menentukan tikungan *full – circle* sebagai berikut :

$$Tc = R. \tan \frac{1}{2} \Delta \dots\dots\dots(2.8)$$

$$D = \frac{25}{2\pi R} \times 360^\circ \dots\dots\dots(2.9)$$

$$Ec = Tc. \tan \frac{1}{4} \Delta \dots\dots\dots(2.10)$$

$$R = \frac{v^2}{127(e+f)} \dots\dots\dots(2.11)$$

$$Lc = \frac{\pi}{180^\circ} \Delta. Rc \dots\dots\dots(2.12)$$

$$Tlb \ Tc - CT = 2. Rc. \sin 0,5\Delta \dots\dots\dots(2.13)$$

Keterangan :

Rc :Jari-jari lengkung rencana (m)

Ec :Pergeseran horizontal (m)

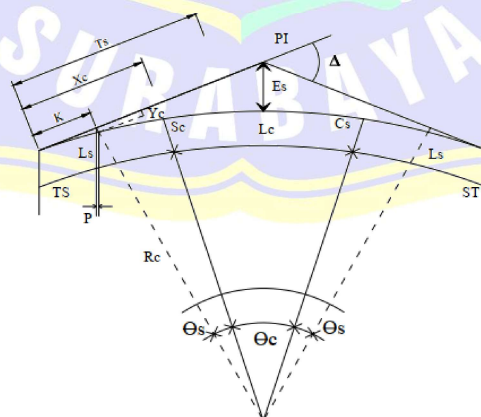
Lc :Panjang busur lingkaran (m)

Δ :Sudut defleksi (derajat)

Tlb :Panjang Tali Busur

2. Bentuk lengkung *spiral – circle – spiral*

Spiral-Circle-Spiral (SCS) yaitu tikungan yang terdiri atas 1 lengkung *circle* dan 2 lengkung spiral. Tikungan jenis ini memiliki ukuran yang lebih kecil dari pada tipe *full circle*. Bentuk tikungan jenis *Spiral-Circle-Spiral* disajikan seperti pada Gambar 2.13.



Gambar 2. 13 lengkung *spiral – circle – spiral*

Sumber : (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2021)

Adapun rumus untuk menghitung lengkung *spiral – circle – spiral* sebagai berikut :

$$X_s = L_s \left(1 - \frac{L_s^2}{40.Rc^2} \right) \dots\dots\dots(2.14)$$

$$Y_s = \frac{L_s^2}{6.Rc} \dots\dots\dots(2.15)$$

$$\theta_s = \frac{90.L_s}{\pi Rc} \dots\dots\dots(2.16)$$

$$k = L_s - \frac{L_s^3}{40.Rc^2} - Rc. \sin \theta_s \dots\dots\dots(2.17)$$

$$T_s = (Rc + p) \tan \frac{1}{2} \Delta + K \dots\dots\dots(2.18)$$

$$E_s = (Rc + p). \cos \frac{1}{2} \Delta - Rc \dots\dots\dots(2.19)$$

$$L_c = \frac{\Delta - 2\theta_s}{180} \times \pi \times Rc \dots\dots\dots(2.20)$$

$$L_{total} = L_c + 2L_s \dots\dots\dots(2.21)$$

Keterangan :

X_s : Absis titik SC pada garis tangen, jarak dari titik ST ke SC

Y_s : Jarak tegak lurus ke titik SC pada lengkung

L_s : Panjang dari titik TS ke SC atau CS ke ST

L_c : Panjang busur lingkaran (Panjang dari titik SC ke CS)

T_s : Panjang tangen dari titik PI ke titik TS atau ke titik ST

SC : Titik dari spiral ke lingkaran

E_s : Jarak dari PI ke busur lingkaran

θ_s : Sudut lengkung spiral

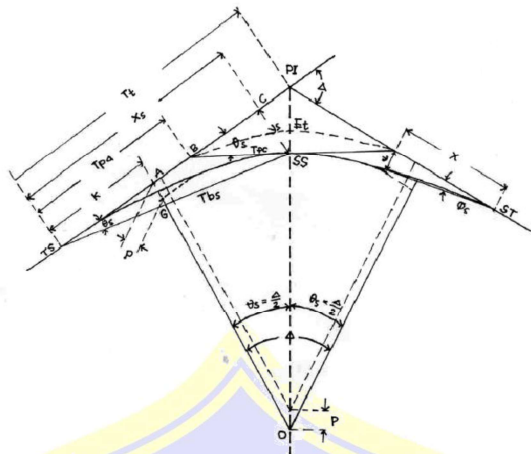
R_d : Jari-jari lingkaran

P : Pergeseran tangen terhadap spiral

K : Absis dari p pada garis tangen spiral

3. Bentuk lengkung *spiral – spiral*

Spiral-Spiral (SS) yaitu tikungan yang terdiri atas dua lengkung spiral. Jika L_c terhitung lebih kecil dari pada L_c minimum ($L_c < L_{cmin}$), maka menggunakan tikungan *Spiral-Spiral* (SS). Bentuk tikungan jenis *Spiral-Spiral* disajikan seperti pada Gambar 2.14.



Gambar 2. 14 lengkung *spiral-spiral*

Sumber : (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2021)

Keterangan Gambar 5.6 :

- Xs : Absis titik SC pada garis tangen, jarak dari titik ST ke SC
- Ys : Jarak tegak lurus ke titik SC pada lengkung
- Ls : Panjang dari titik TS ke SC atau CS ke ST
- Lc : Panjang busur lingkaran (Panjang dari titik SC ke CS)
- Ts : Panjang tangen dari titik PI ke titik TS atau ke titik ST
- SC : Titik dari spiral ke lingkaran
- Es : Jarak dari PI ke busur lingkaran
- os : Sudut lengkung spiral
- Rd : Jari-jari lingkaran
- P : Pergeseran tangen terhadap spiral
- K : Absis dari p pada garis tangen spiral

Pada tikungan *Spiral-Spiral*, pencapaian superelevasi seluruhnya dilakukan pada bagian spiral. Berikut rumus dalam menghitung lengkung *Spiral-Spiral*.

$$Lc = 0 \text{ dan } \theta_s = \frac{1}{2} \Delta PI \dots\dots\dots (2.22)$$

$$L_{tot} = 2 \times Ls \dots\dots\dots (2.23)$$

Untuk menentukan θ_s rumus sama dengan lengkung peralihan sebagai berikut :

$$L_c = \frac{\Delta c \times \pi \times R_d}{90} \dots\dots\dots(2.24)$$

E. Panjang Bagian Lurus

Dalam perencanaan geometrik jalan, panjang bagian lurus perlu dibatasi untuk menjaga keselamatan dan kenyamanan pengguna jalan. Bina Marga menetapkan bahwa panjang maksimum segmen jalan lurus ditentukan berdasarkan waktu tempuh kendaraan yang tidak melebihi 2,5 menit sesuai dengan kecepatan rencana (V_r) yang digunakan. Ketentuan ini bertujuan untuk mengurangi kejenuhan pengemudi serta menjaga konsentrasi selama berkendara (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2021). Panjang maksimum bagian lurus dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$LL \leq 2,5 V_d \dots\dots\dots(2.25)$$

Keterangan :

LL : Panjang bagian lurus (m)

V_d : Kecepatan rencana (Km/jam)

F. Superelevasi

Superelevasi adalah kemiringan melintang perkerasan pada tikungan yang diberikan untuk membantu mengurangi pengaruh gaya sentrifugal yang bekerja pada kendaraan saat melintasi tikungan. Besarnya superelevasi yang diperlukan dipengaruhi oleh kecepatan kendaraan, jari-jari tikungan, dan faktor gesekan samping antara ban dan permukaan jalan. 2021. Nilai superelevasi berdasarkan Manual Desain Perkerasan Jalan Bina Marga 2021 disajikan seperti pada Tabel 2.26.

Tabel 2. 30 Tabel superelevasi

R (m)	Vr= 20 km/j				Vr= 30 km/j				Vr= 40 km/j				Vr= 50 km/j				Vr= 60 km/j				Vr=
	Ls (m)		e (%)	Ls (m)	Ls (m)		e (%)	Ls (m)	e (%)	Ls (m)		e (%)	Ls (m)		e (%)	Ls (m)		e (%)			
	2	4			2	4				2	4		2	4		2	4				
7000	LN		LN		LN		LN		LN		LN		LN		LN		LN		LN		
5000	LN		LN		LN		LN		LN		LN		LN		LN		LN		LN		
3000	LN		LN		LN		LN		LN		LN		LN		LN		LN		LN		
2500	LN		LN		LN		LN		LN		LN		LN		LN		LN		LN		
2000	LN		LN		LN		LN		LN		LN		LN		LN		LN		LN		
1500	LN		LN		LN		LN		LN		LN		LN		RC	10	15		RC		
1400	LN		LN		LN		LN		LN		LN		LN		RC	10	15	2.1	RC		
1300	LN		LN		LN		LN		LN		LN		LN		RC	10	15	2.2	RC		
1200	LN		LN		LN		LN		LN		LN		LN		RC	10	15	2.4	RC		
1000	LN		LN		LN		LN		LN		RC	10	14	2.2	11	17	2.8				
900	LN		LN		LN		LN		RC	10	14	2.4	12	18	3.1						
800	LN		LN		LN		RC	9	13	2.0	10	14	2.7	14	20	3.4					
700	LN		LN		LN		RC	9	13	2.2	11	16	3.0	15	23	3.8					
600	LN		LN		LN		RC	9	13	2.6	12	18	3.4	17	26	4.3					
500	LN		LN	8	12	2.2	10	15	3.0	14	21	3.9	20	30	4.9						
400	LN		RC	8	12	2.7	12	18	3.6	17	25	4.7	24	35	5.7						
300	LN		2.1	9	13	3.4	15	23	4.5	21	32	5.6	29	43	6.7						
250	LN		2.5	11	16	3.9	17	26	5.1	24	36	6.2	32	47	7.3						
200	RC	8	12	3.0	13	19	4.6	20	30	5.8	27	40	7.0	35	53	7.9					
175	RC	8	12	3.4	14	21	5.0	22	33	6.2	29	43	7.4	37	56	8.0					
150	RC	8	12	3.8	16	23	5.4	24	35	6.7	31	47	7.8	39	59						
140	2.0	8	12	4.0	16	24	5.6	24	36	6.9	32	48	7.9	40	60						
130	2.2	9	13	4.2	17	26	5.8	25	38	7.1	33	50	8.0	40	60						
120	2.3	9	13	4.4	18	27	6.0	26	39	7.4	34	51									
110	2.5	10	14	4.7	19	29	6.3	27	41	7.6	36	53									
100	2.7	11	16	4.9	20	30	6.5	28	42	7.8	36	54									
90	2.9	12	17	5.2	21	32	6.8	30	44	7.9	37	56									
80	3.2	13	19	5.5	23	34	7.2	31	47												
70	3.6	14	21	5.9	24	36	7.5	33	49												
60	4.0	16	23	6.3	26	39	7.8	34	51												
50	4.6	18	26	6.9	28	42	8.0	35	52												
40	5.2	20	30	7.5	30	45															
30	5.9	23	34	8.0	32	48															
20	7.1	27	40																		

Sumber : (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2021)

Nilai superelevasi juga bisa diperoleh melalui persamaan berikut :

$$\frac{0,01e+}{1-0,01ef} = \frac{v^2}{gr} = \frac{0,0079v^2}{R} = \frac{v^2}{127 R} \dots\dots\dots(2.26)$$

Keterangan :

- e = superelevasi (%)
- f = koefisien gesek samping
- v = kecepatan kendaraan (km/jam)
- R = jari-jari tikungan (m)

Karena nilai hasil perkalian e dan f relatif kecil, maka persamaan tersebut disederhanakan menjadi :

$$e + f = \frac{v^2}{127.R} \dots\dots\dots(2.27)$$

Keterangan :

- e = superelevasi (%)
- f = koefisien gesek samping

v = kecepatan kendaraan (km/jam)

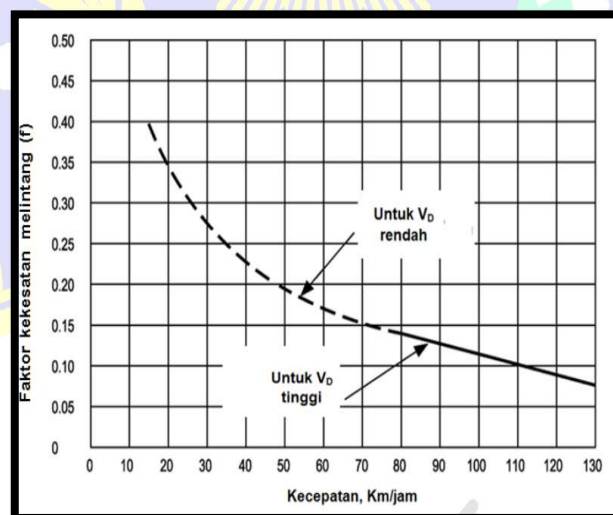
R = jari-jari tikungan (m)

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa gaya sentrifugal yang timbul akibat kendaraan menikung diimbangi oleh kombinasi superelevasi dan faktor gesekan samping.

G. Koefisien gesek

Faktor gesekan samping (*side friction factor*) merupakan parameter yang menunjukkan kebutuhan gaya gesek antara ban kendaraan dan permukaan jalan untuk menahan gaya sentrifugal yang timbul saat kendaraan melintasi tikungan. Faktor ini juga merepresentasikan percepatan lateral yang bekerja pada kendaraan. Pada kondisi nyata, baik pada tikungan yang memiliki superelevasi maupun yang tidak, umumnya masih terdapat gaya yang tidak seimbang sehingga diperlukan gaya gesek antara ban dan permukaan perkerasan untuk menjaga kendaraan tetap berada pada lintasan yang diinginkan. Gaya gesek tersebut terbentuk akibat deformasi pada area kontak antara ban dan permukaan jalan. (AASHTO, 2011)

Dalam perencanaan geometrik jalan, nilai koefisien gesekan samping yang digunakan harus lebih kecil dari nilai gesekan maksimum yang dapat menyebabkan kendaraan tergelincir (*impending skid*) sehingga tetap tersedia faktor keselamatan bagi pengguna jalan. Hubungan antara koefisien gesek (f) dengan kecepatan rencana (V_d) disajikan seperti pada Gambar 2.15.



Gambar 2. 15 faktor kekesatan maksimal

Sumber : (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2021)

Nilai f desain dapat diperoleh menggunakan persamaan berikut

$$f = \frac{v^2}{127} - 0,01 e \dots\dots\dots(2.28)$$

Keterangan :

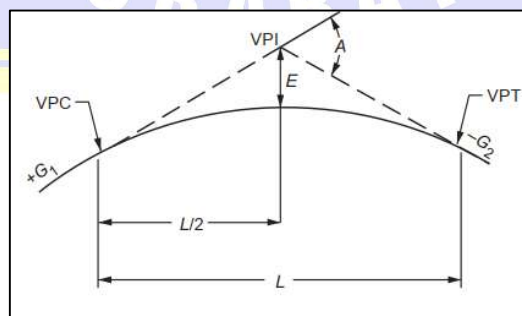
- f = koefisien gesek samping
- v = kecepatan rencana (Km/jam)
- e = nilai superelevasi (%)

2.13.6. Alinemen Vertikal

Alinemen vertikal adalah perencanaan profil memanjang jalan yang menggambarkan perubahan elevasi sepanjang trase jalan. Alinemen ini mencakup dua elemen utama, yaitu kemiringan memanjang (*grade*) dan lengkung vertikal (*vertical curve*) yang menghubungkan dua kemiringan berbeda agar kendaraan dapat melintas dengan aman dan nyaman. Penentuan alinemen vertikal sangat dipengaruhi oleh kondisi topografi, kecepatan rencana, serta karakteristik kendaraan yang akan melintas. Apabila medan jalan terlalu curam, maka diperlukan penyesuaian melalui pembangunan lengkung vertikal cembung (*crest curve*) di puncak dan lengkung vertikal cekung (*sag curve*) di lembah untuk menjaga kenyamanan, jarak pandang, dan keselamatan pengguna jalan. Terdapat 2 jenis lengkung vertikal, antara lain:

- a. Lengkung Vertikal cembung : PVI diatas permukaan jalan.
- b. Lengkung Vertikal cekung : PVI di bawah permukaan jalan.

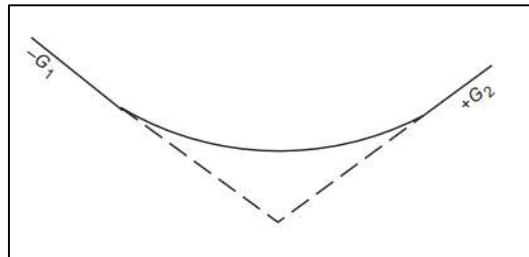
Ilustrasi tipe lengkung vertikal cembung disajikan seperti pada Gambar 2.16.



Gambar 2. 16 tipe lengkung cembung

Sumber : (AASHTO, 2011)

Ilustrasi tipe lengkung vertikal cekung disajikan seperti pada Gambar 2.17.



Gambar 2. 17 tipe lengkung cekung
(AASHTO, 2011)

Berikut persamaan yang digunakan dalam menghitung alinemen vertikal :

$$g = \frac{\text{elevasi PVI} - \text{elevasi titik sebelumnya}}{\text{jarak antar titik}} \times 100\% \quad (2.29)$$

$$A = g_2 - g_1 \quad (2.30)$$

$$Ev = \frac{A \times lv}{800} \quad (2.31)$$

Berikut kriteria dalam penentuan panjang lengkung jenis cekung dan cembung

a. Berdasarkan jarak pandang henti

$$L = K \cdot A \quad (2.32)$$

Keterangan :

L = panjang lengkung (m)

K = kontrol desain jarak pandang henti

Nilai kontrol desain (K) untuk lengkung vertikal cekung berdasarkan jarak pandang henti disajikan seperti pada Tabel 2.27.

Tabel 2. 31 kontrol desain (K) untuk lengkung cekung

Vd (Km/Jam)	JPH (m)	K
20	20	3
30	35	6
40	50	9
50	65	13
60	85	18

Tabel 2. 32 kontrol desain (K) untuk lengkung cekung (lanjutan)

Vd (Km/Jam)	JPH (m)	K
70	105	23
80	130	30
90	160	38
100	185	45
110	220	55
120	250	63

Sumber : (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2021)

- b. Berdasarkan kenyamanan penumpang

$$L = K \cdot A \dots \dots \dots (2.33)$$

Dengan nilai K sebagai berikut :

$$K = \frac{v^2}{1296 \times 0,05 \cdot g} \dots \dots \dots (2.34)$$

Keterangan :

L = panjang lengkung (m)

K = kontrol desain kenyamanan penumpang

g = percepatan gravitasi

- c. Berdasarkan aspek drainase

$$L = K \cdot A$$

$$K = 40$$

- d. Berdasarkan L_{minimum}

$$L_{min} = 0,6 \times \text{kecepatan desain} \dots \dots \dots (2.35)$$

- e. Berdasarkan jarak pandang mendahului

$$L = K \cdot A$$

Keterangan :

L = panjang lengkung (m)

K = kontrol desain jarak pandang mendahului

Nilai kontrol desain (K) untuk lengkung vertikal cembung berdasarkan jarak pandang mendahului disajikan seperti pada Tabel 2.28.

Tabel 2. 33 kontrol desain (K) untuk lengkung cembung

VD (Km/Jam)	JPM (m)	K
30	120	17
40	140	23
50	160	30
60	180	38
70	210	52
80	245	70
90	280	91
100	320	119
110	355	146
120	395	181

Sumber : (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2021)

Adapun perhitungan elevasi nilai X sebagai transisi menuju pergeseran lengkung vertikal (ev) sebagai berikut :

$$X = \frac{1}{2} r x^2 + g_1 x + h_1 \dots\dots\dots(2.36)$$

Keterangan :

- X = elevasi transisi lengkung parabola
- r = (g1-g2)/L
- x = interval jarak dari STA awal lengkung parabola
- g1 = gradien kemiringan I (%)
- g2 = gradien kemiringan II (%)
- h1 = elevasi awal lengkung parabola

Perhitungan elevasi PLV dan PTV :

$$Elevasi PLV = elevasi PVI - \frac{1}{2} \times Lv \times g_1 \dots\dots\dots(2.37)$$

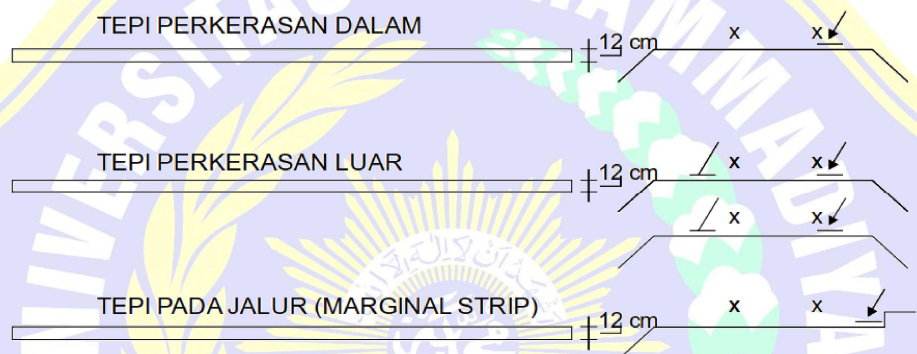
$$Elevasi PLV = elevasi PVI + \frac{1}{2} \times Lv \times g_2 \dots\dots\dots(2.38)$$

2.14. Marka Jalan Inspeksi

Dalam merencanakan jalan inspeksi, perlu dibuat marka untuk menambah faktor keselamatan pengendara selama berada di jalan inspeksi, definisi marka merupakan tanda yang berada di permukaan jalan atau di atas permukaan jalan yang meliputi peralatan atau tanda yang membentuk garis, simbol, atau bentuk tertentu yang berfungsi mengarahkan arus lalu lintas dan membatasi area kepentingan lalu lintas. Bentuk dan dimensi marka garis tepi jalan disajikan seperti pada Gambar 2.18.

a. Marka garis tepi jalan

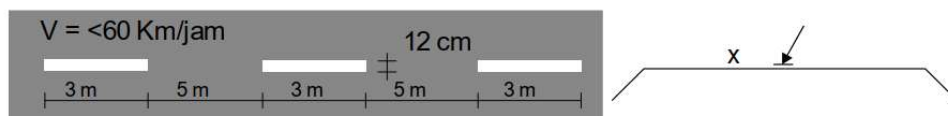
Berikut bentuk dan dimensi dari marka garis tepi jalan.



Gambar 2. 18 marka garis tepi jalan
Sumber : (Kementerian Perhubungan, 2018)

b. Marka pemisah jalur

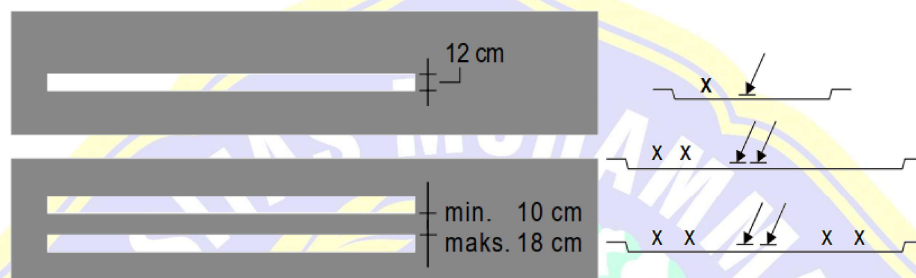
Marka ini merupakan marka yang ditempatkan di tengah – tengah jalan dan berfungsi sebagai pemisah jalur. Bentuk dan dimensi marka pemisah jalur disajikan seperti pada Gambar 2.19..



Gambar 2. 19 marka pemisah jalur
Sumber : (Kementerian Perhubungan, 2018)

c. Marka dilarang pindah jalur/mendahului

Marka ini berfungsi sebagai garis peringatan karena adanya perlambatan atau tikungan. Bentuk dan dimensi marka dilarang pindah jalur disajikan seperti pada Gambar 2.20.



Gambar 2. 20 marka dilarang pindah jalur

Sumber : (Kementerian Perhubungan, 2018)

2.15. Rambu Jalan Inspeksi

Bagian dari perlengkapan jalan berupa lambang, huruf, angka, atau perpaduan di antaranya yang digunakan untuk memberikan peringatan, larangan, perintah, atau petunjuk bagi pengguna jalan. Rambu dipasang di sisi jalan atau di atas jalan, berfungsi memberi informasi penting yang harus diketahui pengemudi.

a. Rambu Peringatan (warna kuning)

Contoh rambu peringatan berwarna kuning disajikan seperti pada Gambar 2.21.



Peringatan Tikungan ke Kiri



Peringatan Tikungan ke Kanan

Gambar 2. 21 rambu peringatan

Sumber : (Kementerian Perhubungan, 2014)

- b. Rambu Larangan (warna putih merah)

Contoh rambu larangan disajikan seperti pada Gambar 2.22.

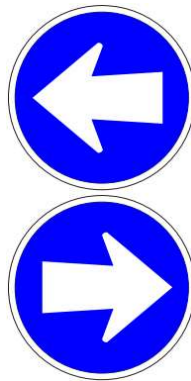


Gambar 2. 22 rambu peringatan

Sumber : (Kementerian Perhubungan, 2014)

- c. Rambu Perintah (biru)

Contoh rambu perintah mengikuti ke arah kiri dan kanan disajikan seperti pada Gambar 2.23.



Gambar 2. 23 Perintah Mengikuti ke Arah Kiri dan Kanan

Sumber : (Kementerian Perhubungan, 2014)

- d. Ukuran daun rambu petunjuk batas wilayah

Bentuk dan dimensi marka dilarang pindah jalur disajikan seperti pada Gambar 2.20.



Gambar 2. 24 ukuran daun rambu

Sumber : Sumber : (Kementerian Perhubungan, 2014)

Tabel 2. 34 dimensi daun rambu

Jenis Ukuran	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	r (mm)
Kecil	300	750	15	10	20
Sedang	400	1000	15	10	25
Besar	500	1250	20	15	30
Sangat Besar	600	1500	25	20	40

Sumber : (Kementerian Perhubungan, 2014)

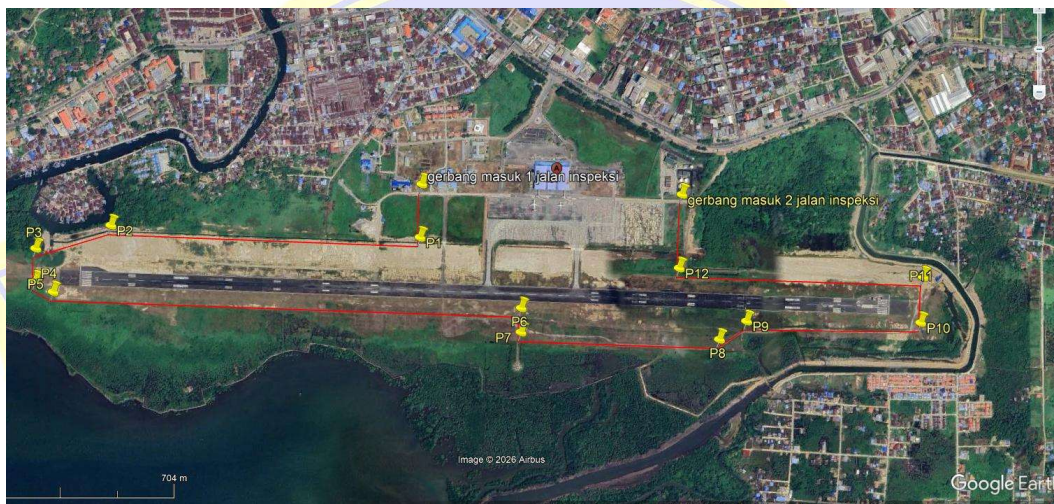
2.16. Rencana Anggaran Biaya

Rencana Anggaran Biaya (RAB) adalah estimasi sistematis mengenai total biaya yang dibutuhkan untuk melaksanakan suatu proyek konstruksi, yang meliputi material, tenaga kerja, serta biaya tidak langsung lainnya. RAB ini disusun berdasarkan volume pekerjaan dan

harga satuan dari standar atau analisis harga, dan menjadi dasar perencanaan pendanaan serta mekanisme pembayaran proyek. Pada studi kasus perencanaan jalan inspeksi, digunakan harga satuan pokok Provinsi Papua Barat Kota Sorong dan peraturan Walikota Sorong.

2.17. Rencana Trase Jalan Inspeksi

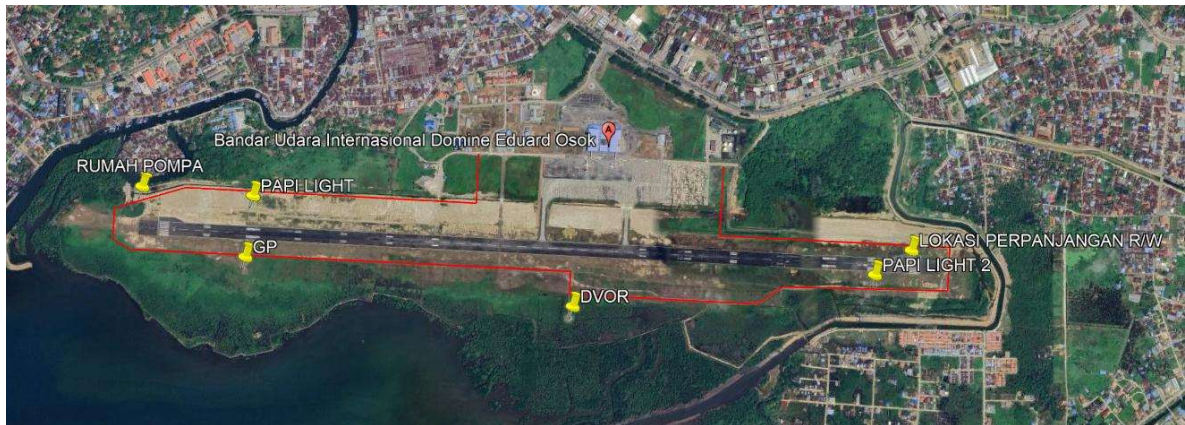
Trase jalan inspeksi direncanakan di sekitaran *runway strip* agar tidak mengganggu kinerja dari *runway*. Rencana trase jalan inspeksi yang direncanakan di sekitar runway strip disajikan seperti pada Gambar 2.25.



Gambar 2. 25 Rencana trase jalan inspeksi

Sumber : dokumen penulis (2025).

Pada rencana rute jalan inspeksi, bisa dilalui mulai dari area teknik operasional (sisi barat) maupun dari area *ground handling* (sisi timur). Fungsi utama jalan inspeksi pada dasarnya agar para personel penerbangan yang akan menuju area atau peralatan di sekitar *runway strip* tidak *crossing* atau melintas melalui area pergerakan pesawat udara sehingga tingkat keselamatan, risiko *runway incursion*, dan jumlah FOD menurun, serta efektifitas pekerjaan bisa optimal karena perbaikan peralatan atau pekerjaan proyek bisa dilaksanakan ketika jam operasional penerbangan berlangsung dan tidak menunggu jam operasional penerbangan berakhir. Titik lokasi peralatan yang berdekatan dengan *movement area* disajikan seperti pada Gambar 2.26.



Gambar 2. 26 Lokasi peralatan yang berdekatan dengan area pergerakan pesawat udara

Sumber : dokumen penulis (2025).

2.18. Kondisi Eksisting

Bandar udara Domine Eduard Osok Sorong saat ini belum memiliki jalan inspeksi yang mana jalan ini sangat mendukung kinerja keselamatan penerbangan, begitu juga dalam rencana induk bandar udara bandara belum memuat adanya perencanaan jalan inspeksi. Kondisi eksisting di area runway strip disajikan seperti pada Gambar 2.27.



Gambar 2. 27 kondisi eksisting di *runway strip*

Sumber : dokumen penulis (2025).

Kondisi eksisting di sekitar PAPI light disajikan seperti pada Gambar 2.28.



Gambar 2. 28 Kondisi eksisting di sekitar PAPI *light*

Sumber : dokumen penulis (2025).

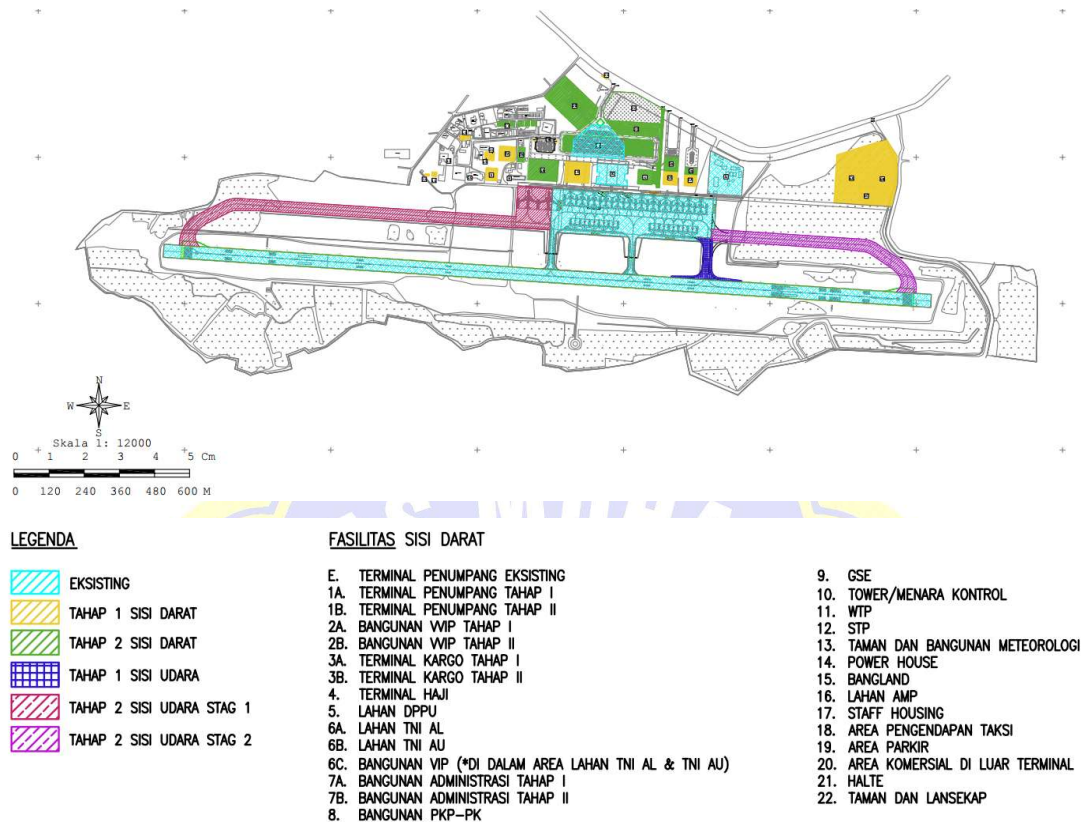
Kondisi terkini Bandar Udara DEO Sorong berdasarkan citra satelit disajikan seperti pada Gambar 2.29.



Gambar 2. 29 kondisi saat ini citra satelit bandar udara DEO sorong

Sumber : dokumen penulis (2025)

Rencana induk (*master plan*) Bandar Udara DEO Sorong disajikan seperti pada Gambar 2.30.



Gambar 2. 30 Rencana induk bandar udara DEO Sorong

Sumber : Master Plan Bandara DEO Sorong (2024).

Gambar di atas merupakan rencana induk bandar udara sekaligus kondisi eksisting di bandara DEO sorong, untuk jalan inspeksi sampai saat ini belum ada di kondisi eksisting maupun perencanaan pembangunan selanjutnya.

2.19. Penelitian Terdahulu

Ringkasan penelitian terdahulu yang relevan dengan penelitian ini disajikan seperti pada Tabel 2.30.

Tabel 2. 35 Penelitian terdahulu

No	Peneliti	Lokasi Penelitian	Metode Perkerasan	Fokus Utama Penelitian	Perbedaan dengan Penelitian Ini
1	Jesida Alfiyana dkk. (2019)	Bandara Ahmad Yani Semarang	Analisa Komponen + Geometrik (TBM 1997)	Desain teknis jalan inspeksi dan tebal perkerasan	Penelitian ini menambahkan analisis keselamatan penerbangan berbasis <i>Safety Risk Assessment</i> dan perbedaan metode perhitungan geometrik jalan
2	Galang Valentino Siahaan (2024)	Bandara Djalaluddin Gorontalo	MDPJ No.03/M/BM/2024	Desain tebal perkerasan dan RAB	Penelitian ini meninjau fungsi jalan inspeksi sebagai upaya pengurangan risiko <i>runway crossing</i> dan keselamatan penerbangan. Penelitian ini belum menambahkan desain geometri jalan
3	Syafira Ahlul Pramudhita (2024)	Bandara Kalimantan Berau	MDPJ 2024 + SKEP/347/XII/1999	Desain tebal perkerasan dan RAB	
4	Suci Ryski Nur Afriyani (2024)	Bandara (Fire Station 2) Palembang	Analisa Komponen	Perkerasan jalan untuk PKP - PK	Jenis dan fungsi jalan berbeda
Dokumen penulis (2025)					