



PEDOMAN

Bidang Jalan

No. 09 /P /BM /2026

PENGUMPULAN DATA BEBAN SUMBU KENDARAAN



K E M E N T E R I A N P E K E R J A A N U M U M
D I R E K T O R A T J E N D E R A L B I N A M A R G A



KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM

DIREKTORAT JENDERAL BINA MARGA

Jl. Pattimura No.20, Selong Keb. Baru, Jakarta Selatan, DKI Jakarta 12110, Telepon (021) 7203165 Surel dirjenbm@pu.go.id

Yth.

1. Sekretaris Direktorat Jenderal Bina Marga;
2. Para Direktur di Direktorat Jenderal Bina Marga;
3. Para Kepala Balai Besar/Balai Pelaksanaan Jalan Nasional di Direktorat Jenderal Bina Marga;
4. Para Kepala Satuan Kerja di Direktorat Jenderal Bina Marga.

SURAT EDARAN DIREKTUR JENDERAL BINA MARGA

NOMOR: 19/SE/Db/2026

TENTANG

PEDOMAN PENGUMPULAN DATA BEBAN SUMBU KENDARAAN DAN
INSTALASI, KALIBRASI, VALIDASI, DAN OPERASIONAL SISTEM *WEIGH IN
MOTION* PERKERASAN JALAN

A. UMUM

Bahwa dalam rangka mendukung penyelenggaraan perencanaan, evaluasi, dan pengelolaan infrastruktur jalan yang berbasis data, diperlukan data beban sumbu kendaraan yang representatif dan berkelanjutan serta sistem *Weigh-In-Motion* (WIM) yang terpasang, terkalibrasi, tervalidasi, dan dioperasikan sesuai ketentuan teknis.

Pengumpulan data beban sumbu kendaraan secara dinamis menggunakan sistem WIM merupakan salah satu metode untuk memperoleh informasi karakteristik beban lalu lintas kendaraan barang secara efektif dan berkesinambungan. Data yang diperoleh melalui sistem WIM digunakan sebagai dasar dalam desain perkerasan, evaluasi kinerja infrastruktur jalan, pengembangan standar teknis desain perkerasan, analisis karakteristik pembebanan kendaraan, serta pengembangan basis data nasional pembebanan kendaraan.

Pedoman mengenai Survei Pengukuran Berat Sumbu Kendaraan dengan Metode Dinamis (Pd 07-2016-B) telah diberlakukan melalui Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 19/SE/M/2016 tentang Pemberlakuan 10 (Sepuluh) Pedoman Bidang Jalan dan Jembatan. Namun, seiring perkembangan teknologi, kebutuhan data, dan pengalaman implementasi sistem WIM, pedoman tersebut perlu dilengkapi dengan panduan instalasi, kalibrasi, validasi, serta operasional sistem WIM pada perkerasan jalan sebagai dua pedoman yang saling terkait.

Berdasarkan hal tersebut, perlu menetapkan Surat Edaran Direktorat Jenderal Bina Marga tentang Pedoman Pengumpulan Data Beban Sumbu Kendaraan dan Instalasi, Kalibrasi, Validasi, dan Operasional Sistem *Weigh-In-Motion* Perkerasan Jalan. Pedoman ini mengatur seluruh siklus penyelenggaraan sistem WIM mulai dari perencanaan, instalasi, kalibrasi, validasi, pengoperasian, pemeliharaan, pemantauan kinerja, hingga penghentian operasional sistem.

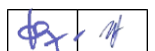
B. DASAR PEMBENTUKAN

1. Undang-Undang Nomor 38 Tahun 2004 tentang Jalan (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2004 Nomor 132, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 4444) sebagaimana telah beberapa kali diubah terakhir dengan Undang-Undang Nomor 6 Tahun 2023 tentang Penetapan Peraturan Pemerintah Pengganti Undang-Undang Nomor 2 Tahun 2022 tentang Cipta Kerja Menjadi Undang-Undang (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2023 Nomor 41, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 6856);
2. Undang-Undang Nomor 22 Tahun 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2009 Nomor 96, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 5025) sebagaimana telah beberapa kali diubah terakhir dengan Undang-Undang Nomor 6 Tahun 2023 tentang Penetapan Peraturan Pemerintah Pengganti Undang-Undang Nomor 2 Tahun 2022 tentang Cipta Kerja Menjadi Undang-Undang (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2023 Nomor 41, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 6856);
3. Peraturan Pemerintah Nomor 34 Tahun 2006 tentang Jalan (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2006 Nomor 86, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 4655);
4. Peraturan Presiden Nomor 170 Tahun 2024 tentang Kementerian Pekerjaan Umum (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2024 Nomor 366);
5. Keputusan Presiden Nomor 28/TPA Tahun 2025 tentang Pemberhentian dan Pengangkatan dari dan dalam Jabatan Pimpinan Tinggi Madya di Lingkungan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat;
6. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 10 Tahun 2021 tentang Pedoman Sistem Manajemen Keselamatan Konstruksi (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2021 Nomor 286);
7. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 1 Tahun 2024 tentang Organisasi dan Tata Kerja Kementerian Pekerjaan Umum (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2024 Nomor 955);
8. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 1 Tahun 2025 tentang Organisasi dan Tata Kerja Unit Pelaksana Teknis di Kementerian Pekerjaan Umum (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2025 Nomor 252);
9. Surat Edaran Direktur Jenderal Bina Marga Nomor 03/M/Db/2024 tentang Manual Desain Perkerasan Jalan

C. MAKSUD DAN TUJUAN

Surat Edaran ini dimaksudkan sebagai acuan bagi unit kerja di Direktorat Jenderal Bina Marga dalam pengumpulan data beban sumbu kendaraan secara dinamis serta pelaksanaan instalasi, kalibrasi, validasi, dan operasional sistem *Weigh-In-Motion* (WIM) pada perkerasan jalan sehingga berlangsung seragam, akurat, dan berkesinambungan.

Surat Edaran ini bertujuan untuk mewujudkan keseragaman dalam perencanaan, pemasangan, pengujian, pengoperasian, pemeliharaan, pengelolaan, dan pemanfaatan data sistem WIM guna mendukung perencanaan, evaluasi, dan pengelolaan infrastruktur jalan berbasis data



serta menjamin akurasi, konsistensi, interoperabilitas, keamanan, dan keberlanjutan data WIM.

D. RUANG LINGKUP

Surat Edaran ini memuat:

1. ketentuan dan prosedur penyelenggaraan pengumpulan data beban sumbu kendaraan secara dinamis menggunakan sistem WIM pada jaringan jalan;
2. ketentuan data hasil pengukuran beban sumbu kendaraan yang digunakan untuk mendukung kegiatan perencanaan, evaluasi, dan pengelolaan infrastruktur jalan serta analisis karakteristik lalu lintas kendaraan barang dan tidak dimaksudkan untuk kepentingan penegakan hukum terhadap pelanggaran muatan kendaraan; dan ketentuan dan prosedur pengelolaan, penyimpanan, validasi, pemanfaatan, dan pengamanan data hasil sistem WIM.

Ketentuan dan prosedur sebagaimana dimaksud disusun ke dalam dua pedoman, yang terdiri atas:

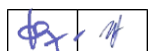
- a. Pengumpulan Data Beban Sumbu Kendaraan; dan
- b. Instalasi, Kalibrasi, Validasi, dan Operasional Sistem WIM Perkerasan Jalan.

E. KETENTUAN PENGATURAN

Pedoman yang diberlakukan melalui Surat Edaran ini mengatur mengenai:

1. Pedoman Pengumpulan Data Beban Sumbu Kendaraan, meliputi:
 - a. ketentuan umum;
 - b. konsep dan prinsip operasi sistem WIM;
 - c. organisasi dan kelembagaan;
 - d. persyaratan lokasi dan pos WIM;
 - e. aspek keselamatan dan lingkungan;
 - f. pengelolaan data;
 - g. ketentuan teknis sistem WIM; dan
 - h. tahapan dan prosedur penyelenggaraan pengumpulan data beban sumbu kendaraan.
2. Pedoman Instalasi, Kalibrasi, Validasi, dan Operasional Sistem Weigh-In-Motion Perkerasan Jalan, meliputi:
 - a. ketentuan umum;
 - b. personel dan koordinasi kelembagaan;
 - c. komponen sistem WIM;
 - d. instalasi sistem;
 - e. kalibrasi sistem;
 - f. validasi kelas akurasi sistem;
 - g. uji coba operasional sistem;
 - h. operasional sistem;
 - i. pemeliharaan dan evaluasi; dan
 - j. pelaporan.

Ketentuan lebih rinci beserta prosedur penyelenggaraan pengumpulan data beban sumbu kendaraan serta instalasi, kalibrasi, validasi, operasional, pemeliharaan, dan evaluasi sistem WIM dilaksanakan sesuai



Lampiran I dan Lampiran II yang merupakan bagian tidak terpisahkan dari Surat Edaran Direktur Jenderal ini.

F. TANGGUNG JAWAB DAN PENGELOLAAN

Setiap unit kerja yang terlibat dalam penyelenggaraan sistem WIM bertanggung jawab sesuai kewenangan masing-masing sebagaimana diatur dalam Lampiran.

Penyelenggaraan sistem WIM disarankan untuk menerapkan pengendalian mutu melalui verifikasi, validasi, kalibrasi, pemantauan kinerja, serta evaluasi secara berkala sesuai dengan ketentuan dalam Lampiran I. Data hasil sistem WIM wajib dikelola secara terdokumentasi, aman, dapat ditelusuri, terdigitalisasi, dan tersedia untuk mendukung pengambilan keputusan berbasis data.

G. PENUTUP

Surat Edaran ini mulai berlaku sejak tanggal ditetapkan.

Demikian Surat Edaran ini untuk dilaksanakan dengan sebaik-baiknya. Atas perhatiannya disampaikan terima kasih.

Tembusan:

1. Menteri Pekerjaan Umum;
2. Wakil Menteri Pekerjaan Umum;
3. Sekretaris Jenderal, Kementerian Pekerjaan Umum;
4. Inspektur Jenderal, Kementerian Pekerjaan Umum.

Ditetapkan di Jakarta

Pada tanggal 24 Juli 2026

DIREKTUR JENDERAL BINA MARGA,



ROY RIZALI ANWAR

NIP 19810430 200312 1 006



PRAKATA

Pedoman pengumpulan data beban sumbu kendaraan ini menetapkan ketentuan dan tata cara pengumpulan data beban sumbu kendaraan metode dinamis atau *Weigh-in-Motion* (WIM) pada pos survei permanen dalam durasi menerus. Pedoman ini melengkapi pedoman yang sebelumnya mengenai Survei Pengukuran Berat Sumbu Kendaraan dengan Metode Dinamis (Pd 07-2016-B) yang telah disahkan melalui Surat Edaran Nomor 19/SE/M/2016 tentang Pemberlakuan 10 (Sepuluh) Pedoman Bidang Jalan dan Jembatan.

Pedoman ini merupakan bagian pertama dari 2 (dua) pedoman yang saling terkait dengan pelaksanaan pengumpulan data beban sumbu kendaraan menggunakan sistem WIM yang terdiri atas pedoman pengumpulan data beban sumbu kendaraan dan pedoman instalasi, kalibrasi, verifikasi, pengoperasian, dan pemeliharaan sistem WIM perkerasan jalan.

Penyusunan pedoman dilakukan melalui kajian literatur dan hasil empiris pelaksanaan pengumpulan data beban sumbu kendaraan metode dinamis yang telah dilakukan oleh Kementerian Pekerjaan Umum, serta informasi teknis rinci yang diperoleh dari penyedia maupun produsen sistem WIM.

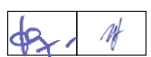
Dalam pedoman ini disampaikan beberapa contoh gambar instrumen atau elemen sistem WIM dari beberapa produsen untuk mempermudah penyampaian informasi bagi pembaca, dengan catatan Kementerian Pekerjaan Umum tidak disponsori atau mempromosikan produk tersebut. Pedoman ini disusun oleh Balai Sistem Jaringan dan Lingkungan Jalan, Direktorat Jenderal Bina Marga, Kementerian Pekerjaan Umum.

Jakarta, 24 Juli 2026

Direktur Jenderal Bina Marga,



Roy Rizali Anwar



DAFTAR ISI

PRAKATA.....	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR.....	v
1 Ruang Lingkup	1
2 Acuan Normatif.....	1
3 Istilah dan Definisi	1
4 Ketentuan Umum	9
4.1 Pengumpulan Data	9
4.1.1 Tujuan Pengumpulan Data	9
4.1.2 Pemanfaatan Data	10
4.1.3 Metode Pelaksanaan	10
4.2 Konsep Sistem WIM.....	11
4.3 Prinsip Operasi Sistem WIM	12
4.4 Organisasi dan Kelembagaan	13
4.5 Perencanaan Lokasi Dan Pos	14
4.5.1 Prinsip Penentuan Lokasi	14
4.5.2 Prinsip Penentuan Pos.....	15
4.5.3 Keterkaitan Lokasi dan Pos	15
4.6 Aspek Keselamatan dan Lingkungan	16
4.6.1 Keselamatan.....	16
4.6.2 Lingkungan	16
5 Ketentuan Teknis.....	17
5.1 Arsitektur Sistem WIM	17
5.1.1 Lapisan Sensor	17
5.1.2 Lapisan Akuisisi Data	17
5.1.3 Lapisan Pengolahan Data.....	17
5.1.4 Lapisan Komunikasi	17
5.1.5 Lapisan Penyimpanan Data.....	18
5.1.6 Lapisan Pemantauan dan Pengendalian.....	18
5.2 Mekanisme Operasi Sistem	19
5.3 Data dan Informasi.....	21
5.3.1 Struktur dan Format Data.....	21
5.3.2 Parameter Minimum Data	21
5.3.3 Pengelolaan Data Minimum.....	21

5.3.4	<i>Output</i> dan Produk Data	22
5.3.5	Sinkronisasi Waktu	22
5.4	Tingkat akurasi Klasifikasi Pengukuran	22
5.5	Komponen Sistem WIM	24
5.5.1	Sensor Penimbang	24
5.5.2	Sensor <i>Inductive Loop</i>	27
5.5.3	Komunikasi	28
5.5.4	Sistem Akuisisi Data (<i>Data Logger</i>)	29
5.5.5	Sistem Penyimpanan Data	30
5.5.6	Sistem Pemantauan dan Pengendalian	31
5.5.7	Kelistrikan dan Catu Daya	32
5.6	Persyaratan Lokasi dan Pos	33
5.6.1	Lokasi	33
5.6.2	Pos	35
5.6.3	Kesesuaian Pos Terhadap Akurasi WIM	38
5.6.4	Verifikasi Lapangan	39
6	Tahapan dan Prosedur	39
6.1	Tahapan	39
6.2	Prosedur	40
6.2.1	Persiapan dan Koordinasi	40
6.2.2	Analisis dan Penentuan Koridor Survei WIM	42
6.2.3	Penentuan Ruas Kandidat Dan Lokasi Pos WIM	44
6.2.4	Survei Pendahuluan	45
6.2.5	Penentuan Peralatan WIM	46
6.2.6	Desain Rinci Pos WIM	46
	Lampiran A Formulir Skrining Awal, Survei Pendahuluan, Verifikasi Fisik dan Inspeksi Visual, Lembar Evaluasi Teknik Matriks Justifikasi Teknologi (Informatif)	49
	Lampiran B (Informatif)	56

DAFTAR TABEL

Tabel 1 - Pemilihan tipe pelaksanaan pengumpulan data.....	11
Tabel 2 - Parameter minimum data WIM	21
Tabel 3 - Ketentuan minimum pengelolaan data	22
Tabel 4 - Klasifikasi kelas akurasi WIM.....	23
Tabel 5 - Klasifikasi kelas akurasi sistem WIM dan penggunaannya.....	23
Tabel 6 - Karakteristik sensor sistem WIM	26
Tabel 7 - Perbandingan akurasi dan biaya sensor per lajur.....	27
Tabel 8 - Perbandingan biaya siklus hidup sensor	27
Tabel 9 - Nilai alur yang diizinkan	37
Tabel 10 - Nilai lendutan rata-rata (10-2 mm) yang diizinkan.....	37
Tabel 11 - Perbedaan alur kiri/kanan (10-2 mm) yang diizinkan	37
Tabel 12 - Kerataan yang diizinkan.....	38
Tabel 13 - Pemilihan pos WIM berdasarkan tingkat akurasi	38
Tabel 14 - Kebutuhan minimum data sekunder.....	41

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 - Contoh penerapan manajemen lalu lintas dan perlengkapan keselamatan	16
Gambar 2 - Arsitektur lapis (<i>layer</i>) sistem WIM	19
Gambar 3 - Mekanisme operasi sistem WIM	20
Gambar 4 - Sensor <i>bending plate</i>	25
Gambar 5 - Sensor <i>piezoelektrik</i>	25
Gambar 6 - Sensor <i>strain gauge Strip</i>	25
Gambar 7 - Sensor <i>strain polymerpiezo</i>	26
Gambar 8 - Sensor <i>loop</i> induktif terpasang pada perkerasan jalan	28
Gambar 9 - Contoh bentuk, spesifikasi, dan aplikasi data <i>logger</i>	30
Gambar 10 - Contoh <i>dashboard</i> sistem WIM	32
Gambar 11 - Rencana penempatan sensor pada lajur yang digunakan kendaraan berat	34
Gambar 12 - Keberadaan simpang terhadap pergerakan dan kecepatan kendaraan truk	34
Gambar 13 - Pemeriksaan kerataan permukaan perkerasan	35
Gambar 14 - Zona stabil untuk penempatan sensor	36
Gambar 15 - Tahapan penentuan pos WIM	40
Gambar 16 - Contoh koridor kolektor yang menghubungkan PKW dengan PKN	44

Pedoman Pengumpulan Data Beban Sumbu Kendaraan

1 Ruang Lingkup

Pedoman ini mengatur ketentuan dan tata cara penyelenggaraan pengumpulan data beban sumbu kendaraan secara dinamis atau *Weigh-In-Motion* (WIM) pada jaringan jalan, yang meliputi prinsip dan konsep sistem WIM, organisasi dan kelembagaan, perencanaan lokasi dan pos WIM, persyaratan teknis sistem dan peralatan, pengumpulan, dan pemanfaatan data, penentuan teknologi dan desain lokasi.

Pedoman ini digunakan sebagai acuan dalam mendukung kegiatan perencanaan, evaluasi, dan pengelolaan infrastruktur jalan serta analisis karakteristik lalu lintas kendaraan barang, dan tidak dimaksudkan untuk kepentingan penegakan hukum terhadap pelanggaran muatan kendaraan.

2 Acuan Normatif

Undang-undang Nomor 22 Tahun 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2009 Nomor 96, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 5025)

Surat Edaran Direktur Jenderal Bina Marga Nomor 21/SE/Db/2023 tentang Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia

Surat Edaran Direktur Jenderal Bina Marga Nomor 03/M/Db/2024 tentang Manual Desain Perkerasan Jalan

Pedoman Teknis Nomor Pd T-12-2003-B, Perambuan Sementara

Pedoman Teknis Nomor Pd T-06-2016-B, Survei Pengukuran Berat Sumbu Kendaraan dengan Metode Statis

ASTM E1318-09(2017), *Standard Specification for Highway Weigh-In-Motion (WIM) Systems with User Requirements and Test Methods*.

COST323 *Weigh-in-Motion of Road Vehicles - Final Report* (COST323, 2002)

3 Istilah dan Definisi

3.1

analog-to-digital converter

ADC

komponen elektronik yang mengubah sinyal analog menjadi data digital agar dapat diproses oleh sistem komputer atau pengolahan data

3.2

akurasi

tingkat kedekatan hasil pengukuran atau data terhadap nilai sebenarnya atau nilai acuan yang ditetapkan

3.3

automatic number plate recognition

ANPR

teknologi pengenalan plat nomor kendaraan secara otomatis menggunakan kamera dan perangkat lunak pemrosesan citra untuk identifikasi kendaraan

3.4

antarmuka (interface)

media atau mekanisme penghubung yang memungkinkan interaksi dan pertukaran data antara pengguna, perangkat, atau sistem

3.5

application programming interface

API

antarmuka perangkat lunak yang memungkinkan pertukaran data dan integrasi fungsi antar aplikasi atau sistem secara terstruktur

3.6

area sensor

bagian atau wilayah kerja sensor yang digunakan untuk mendeteksi objek, beban, atau perubahan kondisi tertentu sesuai fungsi sensor tersebut

3.7

beban sumbu

besarnya beban yang diterima oleh satu sumbu kendaraan dan diteruskan ke permukaan jalan

3.8

bending plate

sensor timbangan berbentuk pelat yang bekerja berdasarkan deformasi atau lendutan pelat akibat beban kendaraan untuk mengukur berat kendaraan secara dinamis pada sistem WIM

3.9

berat total

keseluruhan berat kendaraan beserta muatan yang bekerja pada seluruh sumbu kendaraan

3.10

bak kontrol/pull box

kotak atau ruang akses pada jalur kabel yang digunakan untuk memudahkan penarikan, penyambungan, pemeriksaan, dan pemeliharaan kabel instalasi listrik maupun sistem komunikasi

3.11

buffer lokal

media penyimpanan sementara pada perangkat lokal yang digunakan untuk menahan data sebelum dikirim ke server atau sistem pusat guna mencegah kehilangan data saat terjadi gangguan komunikasi

3.12

closed circuit television

CCTV

sistem kamera pengawas yang digunakan untuk memantau dan merekam kondisi lalu lintas, aktivitas kendaraan, maupun kondisi lokasi tertentu secara *real-time* maupun tersimpan

3.13

comma-separated values

csv

format file data berbasis teks yang menyimpan informasi dalam bentuk tabel dengan pemisah koma sehingga mudah diproses oleh berbagai perangkat lunak

3.14

data logger/data acquisition

perangkat atau sistem yang digunakan untuk mengumpulkan, merekam, menyimpan, dan mengelola data hasil pengukuran dari sensor atau instrumen secara otomatis untuk keperluan monitoring dan analisis

3.15

error

selisih atau penyimpangan antara hasil pengukuran dengan nilai sebenarnya atau nilai acuan yang digunakan sebagai pembandingan

3.16

error rata-rata

nilai rata-rata dari seluruh selisih atau penyimpangan hasil pengukuran terhadap nilai acuan yang digunakan untuk menunjukkan tingkat kesalahan pengukuran secara keseluruhan

3.17

ethernet

teknologi komunikasi jaringan berbasis kabel yang digunakan untuk pertukaran data antar perangkat dalam jaringan lokal dengan kecepatan dan kestabilan tinggi

3.18

event kendaraan

momen saat kendaraan melintasi sensor dan dicatat sebagai satu data

3.19

gantry

struktur portal melintang di atas jalan yang digunakan untuk menempatkan peralatan sistem transportasi seperti sensor, kamera, rambu elektronik, antena, dan perangkat monitoring lalu lintas

3.20

hypertext transfer protocol secure

https

protokol komunikasi web yang menggunakan enkripsi untuk mengamankan pertukaran data antara pengguna dan server

3.21

inductive loop

sensor berbentuk lilitan kabel yang ditanam di permukaan jalan untuk mendeteksi keberadaan kendaraan berdasarkan perubahan induktansi akibat pengaruh logam kendaraan yang melintas di atasnya

3.22

ingress protection 55

IP55

tingkat perlindungan *enclosure* yang menunjukkan perlindungan terhadap debu dalam jumlah terbatas dan terhadap semprotan air dari berbagai arah

3.23

ingress protection 66

IP66

tingkat perlindungan *enclosure* yang menunjukkan perlindungan penuh terhadap debu dan terhadap semprotan air bertekanan tinggi dari berbagai arah

3.24

jarak antar sumbu

jarak longitudinal antara pusat satu sumbu kendaraan dengan pusat sumbu kendaraan lainnya

3.25

kabinet

enclosure atau kotak pelindung yang digunakan untuk menempatkan perangkat elektronik, panel kontrol, sistem komunikasi, dan distribusi daya agar terlindungi dari gangguan lingkungan, kerusakan mekanis, debu, air, maupun akses yang tidak sah

3.26

kalibrasi

proses penyesuaian dan verifikasi hasil pengukuran sistem WIM terhadap alat atau data referensi untuk memastikan tingkat akurasi pengukuran

3.27

kanal

jalur atau saluran komunikasi maupun akuisisi data yang digunakan untuk mentransmisikan atau menerima sinyal tertentu dalam suatu sistem

3.28

keberterimaan

kondisi ketika hasil pengukuran, sistem, atau kinerja perangkat dinilai memenuhi persyaratan, standar, atau toleransi yang telah ditetapkan sehingga dapat diterima untuk digunakan atau dioperasikan

3.29

kecepatan boot

waktu yang dibutuhkan suatu perangkat atau sistem sejak dinyalakan hingga siap beroperasi secara penuh

3.30

kelompok sumbu

gabungan dua atau lebih sumbu kendaraan yang bekerja secara berdekatan dan dihitung sebagai satu kesatuan dalam distribusi beban kendaraan

3.31

komponen elektronik WIM

seluruh perangkat elektronik dalam sistem WIM yang berfungsi untuk mendeteksi, memproses, menyimpan, dan mengirimkan data hasil penimbangan kendaraan

3.32

konduit

pipa pelindung yang digunakan untuk menempatkan dan melindungi kabel instalasi listrik atau komunikasi dari kerusakan mekanis, gangguan lingkungan, dan pengaruh eksternal lainnya

3.33

koridor

jalur atau kawasan transportasi yang menghubungkan beberapa wilayah utama dan berfungsi sebagai lintasan pergerakan lalu lintas, distribusi barang, maupun mobilitas pengguna jalan dalam suatu jaringan transportasi

3.34

***bandwidth* (lebar pita)**

kapasitas maksimum suatu jalur komunikasi untuk mentransmisikan data dalam periode waktu tertentu

3.35

log aktivitas sistem

rekaman otomatis yang mencatat aktivitas, kejadian, perubahan konfigurasi, maupun gangguan yang terjadi pada suatu sistem selama operasi berlangsung

3.36

megabits per second

Mbps

satuan kecepatan transfer data yang menunjukkan jumlah data dalam jutaan bit yang dapat dikirim setiap detik

3.37

mean time between failure

MTBF

nilai rata-rata waktu operasional suatu perangkat atau sistem sebelum mengalami kegagalan yang digunakan untuk menunjukkan tingkat keandalan perangkat

3.38

mekanisme *checksum/hash record*

metode verifikasi integritas data dengan menghasilkan nilai unik pada setiap data untuk mendeteksi perubahan, kerusakan, atau manipulasi data

3.39

message queuing telemetry transport

MQTT

protokol komunikasi ringan berbasis *publish-subscribe* yang digunakan untuk pertukaran data antar perangkat pada sistem monitoring dan *internet of things* (IoT)

3.40

network time protocol/global positioning system

NT/GPS

sistem sinkronisasi waktu dan penentuan posisi yang digunakan untuk memastikan ketepatan waktu dan lokasi pada sistem elektronik

3.41

open VPN

perangkat lunak dan protokol VPN berbasis *open-source* yang digunakan untuk membuat koneksi jaringan aman melalui internet

3.42

piezo elastomer

sensor *piezoelektrik* berbahan elastomer fleksibel yang menghasilkan sinyal listrik akibat deformasi mekanis dan digunakan pada sistem WIM untuk mendeteksi beban kendaraan

3.43

piezo quartz

sensor berbasis kristal kuarsa yang menghasilkan sinyal listrik akibat tekanan atau gaya mekanis melalui efek *piezoelektrik* dan umum digunakan pada sistem WIM untuk pengukuran beban kendaraan secara dinamis

3.44

port

jalur atau titik koneksi fisik maupun virtual yang digunakan untuk komunikasi data atau penghubungan antar perangkat dan sistem

3.45

site pos

lokasi atau titik penempatan fasilitas, peralatan, maupun sistem operasional di lapangan yang digunakan untuk kegiatan pemantauan, pengumpulan data, pengendalian, atau operasional tertentu

3.46

resistansi grounding sistem

nilai hambatan listrik pada sistem pembumian yang menunjukkan kemampuan sistem *grounding* dalam mengalirkan arus gangguan ke tanah

3.47

resolusi waktu

kemampuan sistem dalam membedakan interval waktu terkecil antar kejadian sehingga menentukan ketelitian pencatatan waktu pada proses pengukuran atau akuisisi data

3.48

rest/json

metode komunikasi dan format pertukaran data berbasis web yang digunakan untuk integrasi dan pertukaran informasi antar sistem secara ringan, terstruktur, dan mudah diproses

3.49

ruas

bagian tertentu dari jalan yang berada di antara dua titik acuan, simpang, atau batas administrasi yang digunakan sebagai satuan segmentasi dalam pengelolaan dan analisis jalan

3.50

sensitivitas sensor

tingkat kemampuan sensor dalam merespons perubahan kecil pada besaran yang diukur sehingga menentukan ketelitian deteksi sensor terhadap perubahan input

3.51

sensor

perangkat yang digunakan untuk mendeteksi, mengukur, dan mengubah besaran fisik atau kondisi tertentu menjadi sinyal yang dapat diproses oleh sistem elektronik

3.52

single load cell

sensor pengukur gaya atau berat yang menggunakan satu elemen *load cell* untuk mendeteksi dan mengukur beban yang bekerja pada suatu titik atau struktur tertentu

3.53

grounding system (sistem pembumian)

sistem penghubung instalasi listrik ke tanah yang digunakan untuk mengalirkan arus gangguan demi meningkatkan keselamatan dan melindungi peralatan elektronik

3.54

sistem WIM

kesatuan perangkat sensor, pengolah data, komunikasi, dan perangkat pendukung lainnya yang digunakan untuk melakukan pengukuran berat kendaraan secara dinamis di jalan

3.55

standar deviasi

ukuran statistik yang menunjukkan tingkat penyebaran atau variasi data terhadap nilai rata-rata sehingga menggambarkan konsistensi hasil pengukuran atau pengamatan

3.56

strain gauge

sensor yang digunakan untuk mengukur regangan atau deformasi suatu material melalui perubahan resistansi listrik akibat gaya atau tekanan yang bekerja pada material tersebut

3.57

sumbu dalam kelompok sumbu

masing-masing sumbu yang menjadi bagian dari suatu kelompok sumbu kendaraan dengan distribusi beban tertentu

3.58

sumbu tunggal

satu sumbu kendaraan yang berdiri sendiri dan menyalurkan beban kendaraan langsung ke permukaan jalan

3.59

surge protective device

SPD

perangkat pelindung kelistrikan yang berfungsi melindungi peralatan elektronik dari lonjakan tegangan akibat petir, *switching* listrik, atau gangguan daya lainnya

3.60

transmission control protocol/internet protocol

TCP/IP

kumpulan protokol komunikasi dasar yang digunakan untuk pertukaran data antar perangkat dalam jaringan komputer dan internet

3.61

teknologi raid (redundant array of independent disks)

metode penggabungan beberapa media penyimpanan untuk meningkatkan keamanan data, kapasitas penyimpanan, dan/atau performa sistem

3.62

tingkat akurasi

besaran atau persentase yang menunjukkan seberapa tepat hasil pengukuran dibandingkan dengan nilai sebenarnya sesuai standar atau toleransi tertentu

3.63

transport layer security

TLS

protokol keamanan komunikasi yang digunakan untuk mengenkripsi pertukaran data pada jaringan komputer agar terlindungi dari penyadapan dan manipulasi

3.64

uninterruptible power supply

UPS

perangkat penyedia daya cadangan sementara yang menjaga suplai listrik tetap tersedia saat terjadi gangguan atau pemadaman listrik

3.65

urban fringe

kawasan peralihan antara wilayah perkotaan dan pedesaan yang umumnya mengalami perkembangan aktivitas, penggunaan lahan, dan pergerakan transportasi yang tinggi

3.66

variable message sign

VMS

papan informasi elektronik yang dapat menampilkan pesan atau informasi lalu lintas secara dinamis kepada pengguna jalan sesuai kondisi operasional di lapangan

3.67

VPN site-to-site

metode jaringan privat virtual yang menghubungkan dua atau lebih jaringan di lokasi berbeda melalui koneksi internet secara aman dan terenkripsi

3.68

weigh-in-motion

WIM

teknologi penimbangan kendaraan yang dilakukan secara dinamis saat kendaraan bergerak tanpa harus berhenti

3.69

zona stabil

area atau kondisi pengukuran di mana respons sensor atau sistem berada dalam keadaan stabil dan menghasilkan data yang konsisten serta minim gangguan

4 Ketentuan Umum

4.1 Pengumpulan Data

4.1.1 Tujuan Pengumpulan Data

Pengumpulan data beban sumbu kendaraan dilaksanakan untuk memperoleh data yang representatif mengenai karakteristik beban lalu lintas sebagai dasar dalam perencanaan, pemrograman, evaluasi, dan pengelolaan infrastruktur jalan.

Pengumpulan data dilakukan secara menerus atau periodik dengan menggunakan sistem penimbangan kendaraan dinamis WIM yang mampu merekam parameter lalu lintas dan kendaraan secara otomatis. Data yang dihasilkan sekurang-kurangnya meliputi:

a. Jumlah dan klasifikasi kendaraan

Data jumlah dan klasifikasi kendaraan digunakan untuk mengetahui komposisi lalu lintas berdasarkan jenis kendaraan yang melintas pada suatu ruas jalan. Data ini diperlukan untuk analisis karakteristik lalu lintas, identifikasi proporsi kendaraan angkutan barang, serta evaluasi tingkat penggunaan jaringan jalan.

b. Beban sumbu kendaraan

Data beban sumbu kendaraan digunakan untuk mengetahui besaran beban yang diterima oleh masing-masing sumbu kendaraan selama kendaraan melintas. Data ini menjadi dasar dalam analisis kerusakan perkerasan jalan dan jembatan, evaluasi beban lalu lintas, perhitungan umur layanan jalan dan jembatan, dan desain perkerasan jalan

c. Berat total kendaraan

Data berat total kendaraan digunakan untuk mengetahui total muatan kendaraan secara keseluruhan. Informasi ini diperlukan untuk evaluasi karakteristik kendaraan angkutan barang, analisis kepatuhan terhadap ketentuan berat kendaraan, serta desain infrastruktur jalan.

d. Distribusi kendaraan berdasarkan arah dan lajur

Data distribusi kendaraan berdasarkan arah dan lajur digunakan untuk mengetahui pola pergerakan kendaraan pada ruas jalan. Data ini diperlukan dalam analisis distribusi beban lalu lintas, evaluasi pemanfaatan lajur, serta penentuan prioritas penanganan dan pengelolaan infrastruktur jalan.

4.1.2 Pemanfaatan Data

Data hasil pengukuran beban kendaraan dimanfaatkan sebagai bagian dari penyelenggaraan manajemen infrastruktur jalan dan kegiatan analisis lalu lintas angkutan barang. Pemanfaatan data dilakukan untuk mendukung proses perencanaan teknis, evaluasi kinerja infrastruktur, serta pengambilan keputusan berbasis data pada pengelolaan jaringan jalan. Data hasil pengukuran digunakan untuk:

a. Evaluasi desain dan kinerja perkerasan jalan

Data beban kendaraan digunakan untuk mengevaluasi kesesuaian desain perkerasan terhadap kondisi beban lalu lintas aktual di lapangan. Selain itu, data dimanfaatkan untuk menilai kinerja perkerasan jalan dalam menerima pengaruh repetisi beban kendaraan selama masa pelayanan.

b. Estimasi umur layan perkerasan

Data beban sumbu kendaraan digunakan sebagai dasar dalam memperkirakan tingkat kerusakan dan sisa umur layan perkerasan jalan. Informasi ini diperlukan untuk mendukung penyusunan program preservasi, rehabilitasi, dan peningkatan kemampuan perkerasan jalan secara lebih tepat.

c. Evaluasi struktur jembatan

Data hasil pengukuran dimanfaatkan untuk menganalisis pengaruh beban kendaraan terhadap kondisi dan kapasitas struktur jembatan. Evaluasi dilakukan untuk mendukung penilaian tingkat pelayanan, kebutuhan pemeliharaan, serta perencanaan penguatan struktur apabila diperlukan.

d. Analisis karakteristik lalu lintas barang

Data digunakan untuk mengetahui pola pergerakan angkutan barang, komposisi kendaraan barang, distribusi muatan, serta karakteristik operasional kendaraan pada jaringan jalan. Hasil analisis dapat digunakan sebagai dasar dalam penyusunan kebijakan transportasi barang dan pengelolaan koridor logistik.

Data hasil pengukuran dalam pedoman ini tidak digunakan sebagai dasar penegakan hukum terhadap pelanggaran muatan kendaraan, melainkan ditujukan untuk kepentingan pengumpulan data, analisis teknis, dan pengelolaan infrastruktur jalan.

4.1.3 Metode Pelaksanaan

Pelaksanaan pengumpulan data beban sumbu kendaraan pada pos permanen dapat dilakukan melalui mekanisme swakelola maupun kontraktual sesuai dengan kebutuhan program, kompleksitas pekerjaan, dan ketersediaan sumber daya. Pemilihan metode pelaksanaan harus mempertimbangkan kemampuan organisasi, ketersediaan sumber daya manusia yang kompeten, kemampuan teknis operasional, serta keberlanjutan pengelolaan sistem dalam jangka panjang.

Tahapan pelaksanaan program meliputi kegiatan pengadaan, instalasi, kalibrasi, pemeliharaan, penggantian atau peningkatan sistem, serta pengelolaan data. Setiap tahapan

dapat dilaksanakan secara swakelola atau melalui penyedia jasa sesuai dengan tipe pelaksanaan yang dipilih.

Pemilihan tipe pelaksanaan pengumpulan data sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1 dilakukan berdasarkan tingkat keterlibatan organisasi dalam penyelenggaraan sistem serta kemampuan teknis yang dimiliki. Semakin tinggi tingkat pelaksanaan secara swakelola, maka semakin besar kebutuhan terhadap sumber daya manusia yang memiliki kompetensi teknis dalam pengembangan, pengoperasian, dan pengelolaan sistem WIM.

Tabel 1 - Pemilihan tipe pelaksanaan pengumpulan data

Tahapan	Tipe 1	Tipe 2	Tipe 3	Tipe 4	Tipe 5
Pengadaan	Swakelola	Kontraktual	Kontraktual	Kontraktual	Kontraktual
Instalasi	Swakelola	Swakelola	Kontraktual	Kontraktual	Kontraktual
Kalibrasi	Swakelola	Swakelola	Kontraktual	Kontraktual	Kontraktual
Pemeliharaan	Swakelola	Swakelola	Swakelola	Kontraktual	Kontraktual
Penggantian/Peningkatan	Swakelola	Swakelola	Swakelola	Kontraktual	Kontraktual
Pengelolaan Data	Swakelola	Swakelola	Swakelola	Swakelola	Kontraktual

Keterangan:

- Tipe 1 : Pelaksanaan seluruh tahapan kegiatan dilakukan secara swakelola oleh organisasi. Tipe ini membutuhkan sumber daya manusia yang kompeten untuk melaksanakan pengembangan sistem mulai dari pengadaan bahan atau perangkat, instalasi, kalibrasi, pemeliharaan, peningkatan sistem, hingga pengelolaan data secara mandiri.
- Tipe 2 : Pengadaan dilaksanakan secara kontraktual, sedangkan tahapan instalasi hingga pengelolaan data dilaksanakan secara swakelola. Tipe ini membutuhkan sumber daya manusia yang kompeten untuk melakukan pemeriksaan dan pengendalian proses pengadaan serta melaksanakan kegiatan operasional dan pengelolaan sistem secara mandiri.
- Tipe 3 : Pengadaan, instalasi, dan kalibrasi dilaksanakan secara kontraktual, sedangkan kegiatan pemeliharaan, penggantian atau peningkatan sistem, serta pengelolaan data dilaksanakan secara swakelola. Tipe ini membutuhkan sumber daya manusia yang kompeten untuk melakukan pengawasan terhadap proses pengadaan hingga kalibrasi, serta melaksanakan pengelolaan operasional sistem pada tahap lanjutan.
- Tipe 4 : Pengadaan hingga penggantian atau peningkatan sistem dilaksanakan secara kontraktual, sedangkan pengelolaan data dilaksanakan secara swakelola. Tipe ini membutuhkan sumber daya manusia yang kompeten untuk melakukan pengawasan terhadap pelaksanaan pekerjaan oleh penyedia jasa serta melaksanakan pengolahan dan pengelolaan data hasil pengukuran.
- Tipe 5 : Seluruh tahapan pelaksanaan dilakukan secara kontraktual oleh penyedia jasa. Pada tipe ini organisasi tetap membutuhkan sumber daya manusia yang kompeten untuk melakukan pemeriksaan, pengendalian mutu, dan evaluasi terhadap pelaksanaan pekerjaan serta memastikan data keluaran sistem memenuhi persyaratan teknis yang ditetapkan.

4.2 Konsep Sistem WIM

Sistem WIM merupakan suatu integrasi yang terdiri atas perangkat pengukuran, pengolahan, komunikasi, dan pengelolaan data yang berfungsi untuk memperoleh data beban sumbu kendaraan secara dinamis tanpa menghentikan kendaraan. Sistem WIM harus dirancang sebagai suatu kesatuan yang:

- Mampu beroperasi secara otomatis dan berkelanjutan
Sistem harus mampu melaksanakan proses deteksi, pengukuran, perekaman, dan pengiriman data secara otomatis dengan tingkat kontinuitas operasional yang memadai untuk mendukung pengumpulan data jangka panjang.

- b. Menghasilkan data yang konsisten dan dapat ditelusuri
Sistem harus mampu menghasilkan data pengukuran yang konsisten, terdokumentasi, dan dapat ditelusuri kembali berdasarkan parameter pengukuran, waktu pencatatan, serta status operasional sistem untuk mendukung validitas dan keandalan data.
- c. Mendukung integrasi dengan sistem pengelolaan data jalan.
Sistem harus mendukung pertukaran dan integrasi data dengan sistem pengelolaan jalan, sistem manajemen aset, maupun sistem transportasi lainnya melalui mekanisme komunikasi dan format data yang sesuai.

Sistem WIM disusun berdasarkan arsitektur berlapis yang menggambarkan alur pengumpulan, pengolahan, dan penyajian data beban kendaraan secara terintegrasi. Pendekatan berlapis ini bertujuan untuk memastikan keterpaduan fungsi, kemudahan pengelolaan sistem, serta fleksibilitas dalam pengembangan dan integrasi dengan sistem lain.

Secara umum, arsitektur sistem WIM terdiri atas beberapa lapisan utama yang saling terhubung dan membentuk suatu proses yang berkesinambungan, dimulai dari proses deteksi kendaraan di lapangan, pengolahan data hasil pengukuran, transmisi data melalui jaringan komunikasi, hingga penyimpanan dan penyajian informasi kepada pengguna sistem.

4.3 Prinsip Operasi Sistem WIM

Prinsip operasi sistem WIM merupakan dasar pelaksanaan pengukuran beban kendaraan secara dinamis pada kondisi lalu lintas normal. Sistem dirancang untuk melakukan pengukuran secara otomatis tanpa mengganggu arus kendaraan, sehingga data yang diperoleh dapat menggambarkan kondisi operasional lalu lintas dan karakteristik beban kendaraan secara representatif. Pengoperasian sistem WIM harus memenuhi prinsip sebagai berikut:

- a. Pengukuran dilakukan secara dinamis pada kondisi lalu lintas normal
Pengukuran beban kendaraan dilakukan pada saat kendaraan melintas dengan kecepatan operasional normal tanpa perlakuan khusus terhadap arus lalu lintas. Kondisi ini bertujuan agar data yang diperoleh mencerminkan karakteristik lalu lintas aktual pada ruas jalan yang diamati.
- b. Kendaraan tidak perlu berhenti selama proses pengukuran
Sistem harus mampu melakukan pengukuran beban kendaraan tanpa menghentikan kendaraan yang melintas. Pengoperasian sistem dilakukan secara *non-intrusive* terhadap pergerakan lalu lintas guna menjaga kelancaran arus kendaraan dan mendukung efisiensi pengumpulan data.
- c. Sistem mampu merekam data setiap kendaraan yang melintas
Sistem harus mampu mendeteksi, mengukur, dan merekam parameter kendaraan secara otomatis untuk setiap kendaraan yang melintas pada lajur pengamatan. Perekaman data dilakukan secara berkesinambungan sesuai dengan kapasitas dan konfigurasi sistem yang digunakan.
- d. Hasil pengukuran mencerminkan kondisi beban lalu lintas sebenarnya
Sistem harus mampu menghasilkan data pengukuran yang representatif terhadap kondisi beban lalu lintas aktual. Keandalan hasil pengukuran dipengaruhi oleh kesesuaian teknologi sensor, kondisi perkerasan, konfigurasi sistem, serta pelaksanaan kalibrasi dan pemeliharaan secara berkala.

Dalam pelaksanaannya, sistem harus memperhatikan kesinambungan operasional dan keandalan hasil pengukuran. Pengelolaan sistem dilakukan melalui pengendalian kualitas data, pemantauan kondisi peralatan, serta pelaksanaan pemeliharaan dan kalibrasi secara berkala agar sistem tetap berfungsi sesuai dengan persyaratan teknis dan tujuan pengumpulan data.

4.4 Organisasi dan Kelembagaan

Penyelenggaraan program pengumpulan data beban sumbu kendaraan memerlukan dukungan organisasi dan kelembagaan yang mampu menjamin keberlangsungan operasional sistem serta keandalan data yang dihasilkan. Organisasi terstruktur dengan pembagian fungsi dan tanggung jawab yang jelas diperlukan untuk memastikan seluruh tahapan pengumpulan data dapat dilaksanakan secara konsisten, terkoordinasi, dan sesuai dengan ketentuan teknis yang berlaku.

Untuk memastikan data yang dihasilkan memiliki tingkat validitas, konsistensi, dan ketelusuran, diperlukan struktur organisasi yang komprehensif dengan pembagian fungsi yang jelas pada setiap tahapan penyelenggaraan sistem. Pelaksanaan program pengumpulan data beban sumbu kendaraan harus didukung oleh organisasi yang memiliki fungsi sebagai berikut:

- a. Perencanaan program
Fungsi ini bertanggung jawab dalam penyusunan program pengumpulan data, penentuan lokasi dan pos pengumpulan data, perencanaan kebutuhan sistem dan sumber daya, serta penyusunan jadwal dan strategi pelaksanaan kegiatan. Fungsi perencanaan juga mencakup pengoordinasian kebutuhan pengembangan sistem sesuai dengan tujuan pengumpulan data dan kebutuhan pengelolaan jaringan jalan.
- b. Pelaksanaan pengumpulan data
Fungsi ini bertanggung jawab dalam pelaksanaan operasional sistem pengumpulan data di lapangan, termasuk pengoperasian peralatan, pemantauan kondisi sistem, pelaksanaan kalibrasi, serta kegiatan pemeliharaan rutin agar sistem dapat beroperasi secara berkelanjutan dan menghasilkan data yang andal.
- c. Pengelolaan dan pengolahan data
Fungsi ini bertanggung jawab dalam penerimaan, penyimpanan, validasi, pengolahan, analisis, serta penyajian data hasil pengukuran. Pengelolaan data dilakukan untuk memastikan data dapat dimanfaatkan sebagai dasar dalam perencanaan, evaluasi, dan pengelolaan infrastruktur jalan maupun analisis lalu lintas angkutan barang.
- d. Pengawasan dan evaluasi
Fungsi ini bertanggung jawab dalam pelaksanaan pengawasan terhadap operasional sistem, pengendalian mutu data, evaluasi kinerja peralatan dan sistem, serta penilaian terhadap efektivitas program pengumpulan data secara keseluruhan. Hasil evaluasi digunakan sebagai dasar dalam perbaikan dan pengembangan sistem secara berkelanjutan.

Penetapan peran dan tanggung jawab masing-masing pihak harus dilakukan secara jelas sesuai dengan kewenangan, kebutuhan operasional, dan ketersediaan sumber daya. Penetapan tersebut mencakup:

- a. Pengoperasian sistem
Penanggung jawab pengoperasian sistem harus memastikan seluruh perangkat dan sistem pengumpulan data berfungsi sesuai dengan ketentuan operasional dan prosedur yang ditetapkan.

b. Pemeliharaan peralatan

Penanggung jawab pemeliharaan harus melaksanakan pemeriksaan, perawatan, perbaikan, dan penggantian komponen sistem secara berkala untuk menjaga kesinambungan operasional dan keandalan sistem.

c. Pengendalian mutu data

Penanggung jawab pengendalian mutu data harus memastikan data hasil pengukuran memenuhi persyaratan kualitas, konsistensi, dan validitas melalui proses pemeriksaan, verifikasi, dan validasi data secara berkala.

d. Pengelolaan data dan pelaporan

Penanggung jawab pengelolaan data dan pelaporan harus memastikan data tersimpan dengan baik, dapat ditelusuri, serta disajikan dalam bentuk laporan dan informasi yang mendukung kebutuhan analisis dan pengambilan keputusan.

Pelaksanaan fungsi organisasi dan kelembagaan dapat disesuaikan dengan kebutuhan program, skala pelaksanaan, dan ketersediaan sumber daya pada masing-masing instansi atau penyelenggara sistem.

4.5 Perencanaan Lokasi dan Pos

4.5.1 Prinsip Penentuan Lokasi

Penentuan lokasi pengumpulan data harus mempertimbangkan:

a. Fungsi ruas jalan dalam jaringan transportasi;

Lokasi pengumpulan data harus mempertimbangkan fungsi dan klasifikasi ruas jalan dalam sistem jaringan transportasi, baik pada jaringan jalan nasional, provinsi, maupun kabupaten/kota. Ruas jalan yang memiliki peran strategis sebagai koridor utama distribusi barang, penghubung kawasan industri, pelabuhan, terminal logistik, atau pusat kegiatan ekonomi perlu diprioritaskan sebagai lokasi pengumpulan data.

b. Karakteristik lalu lintas, khususnya kendaraan angkutan barang;

Penentuan lokasi harus memperhatikan karakteristik lalu lintas pada ruas jalan, terutama komposisi dan intensitas kendaraan angkutan barang. Lokasi yang memiliki volume kendaraan berat yang signifikan, pola lalu lintas yang stabil, serta representatif terhadap kondisi operasional angkutan barang lebih diutamakan untuk memperoleh data beban kendaraan yang andal.

c. Keterwakilan terhadap koridor distribusi logistik;

Lokasi pengumpulan data harus mampu mewakili koridor distribusi logistik utama pada wilayah pelayanan tertentu. Pemilihan lokasi perlu mempertimbangkan keterhubungan dengan pusat produksi, kawasan industri, pelabuhan, pergudangan, maupun simpul distribusi lainnya sehingga data yang diperoleh dapat menggambarkan pola pergerakan barang secara representatif.

d. Keberlanjutan pengumpulan data dalam jangka panjang.

Lokasi pengumpulan data harus mendukung pelaksanaan survei dan operasional sistem secara berkelanjutan dalam jangka panjang. Pertimbangan meliputi ketersediaan ruang, keamanan lokasi, kemudahan akses pemeliharaan, ketersediaan sumber daya pendukung, serta potensi pengembangan sistem di masa mendatang agar kontinuitas dan konsistensi data tetap terjaga.

4.5.2 Prinsip Penentuan Pos

a. Penentuan pos pengumpulan data pada suatu ruas jalan harus mempertimbangkan:

- 1) Kondisi operasional lalu lintas
Pos pengumpulan data harus ditempatkan pada lokasi dengan kondisi operasional lalu lintas yang mendukung proses pengukuran kendaraan secara stabil dan konsisten. Lokasi diprioritaskan pada ruas dengan pola pergerakan kendaraan yang normal, kecepatan lalu lintas yang relatif seragam, serta minim gangguan operasional seperti antrean, perlambatan mendadak, persimpangan, atau aktivitas keluar-masuk kendaraan yang dapat memengaruhi akurasi pengukuran.
- 2) Kesenambungan aliran kendaraan
Penempatan pos harus memperhatikan kesinambungan aliran kendaraan agar kendaraan dapat melintas secara kontinu tanpa hambatan yang signifikan. Lokasi yang dipilih sebaiknya berada pada segmen jalan dengan arus lalu lintas yang stabil dan tidak terpengaruh oleh hambatan samping yang tinggi, sehingga sistem dapat merekam karakteristik kendaraan dan beban sumbu secara representatif.
- 3) Kemudahan instalasi, operasi, dan pemeliharaan
Pos pengumpulan data harus mempertimbangkan kemudahan dalam pelaksanaan instalasi peralatan, kegiatan operasional, serta pemeliharaan sistem. Aspek yang perlu diperhatikan meliputi aksesibilitas lokasi, ketersediaan ruang untuk penempatan perangkat, keamanan peralatan, ketersediaan sumber daya pendukung seperti catu daya dan jaringan komunikasi, serta kemudahan pelaksanaan inspeksi dan perbaikan secara berkala.

b. Suatu pos pengumpulan data dapat:

- 1) Dipertahankan
Pos pengumpulan data dipertahankan apabila hasil evaluasi menunjukkan bahwa lokasi masih memenuhi kebutuhan pengumpulan data, memiliki karakteristik lalu lintas yang representatif, serta mendukung keberlanjutan operasional sistem secara efektif.
- 2) Dipindahkan
Pos pengumpulan data dapat dipindahkan apabila terjadi perubahan kondisi lalu lintas, perubahan fungsi jaringan jalan, perkembangan kawasan, atau faktor teknis lainnya yang menyebabkan lokasi eksisting tidak lagi memenuhi persyaratan pengumpulan data secara optimal.
- 3) Dihentikan
Pos pengumpulan data dapat dihentikan operasionalnya apabila berdasarkan hasil evaluasi lokasi tersebut tidak lagi diperlukan dalam program pengumpulan data, mengalami penurunan relevansi terhadap koridor lalu lintas yang dipantau, atau terdapat pertimbangan teknis dan operasional yang menyebabkan kegiatan pengumpulan data tidak dapat dilaksanakan secara efektif.

4.5.3 Keterkaitan Lokasi dan Pos

Lokasi dan pos pengumpulan data merupakan satu kesatuan dalam sistem pengumpulan data. Penempatan pos harus mendukung tujuan pengamatan pada lokasi yang telah ditetapkan sehingga data yang dihasilkan dapat mewakili kondisi lalu lintas pada ruas tersebut.

4.6 Aspek Keselamatan dan Lingkungan

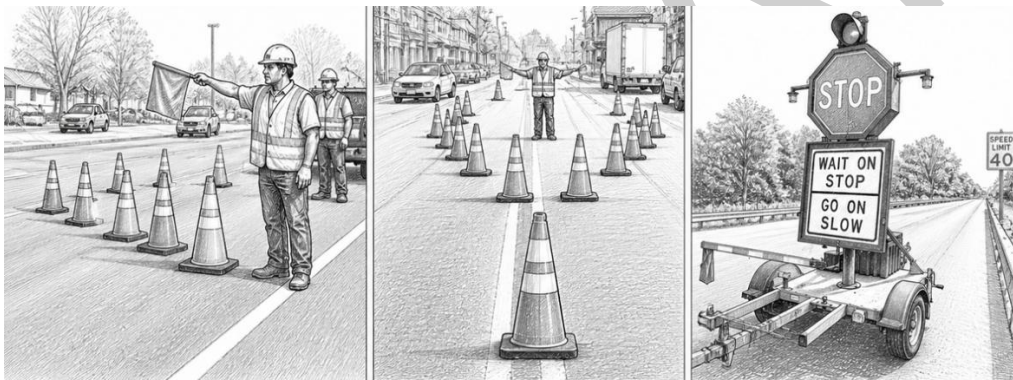
4.6.1 Keselamatan

Pelaksanaan program pengumpulan data beban sumbu kendaraan harus memperhatikan aspek keselamatan secara menyeluruh, baik terhadap personel, peralatan, maupun pengguna jalan.

Setiap kegiatan yang berkaitan dengan pengoperasian sistem WIM, termasuk kegiatan yang berpotensi mengganggu arus lalu lintas, harus direncanakan dan dilaksanakan dengan mempertimbangkan risiko keselamatan serta dampaknya terhadap pengguna jalan.

Penerapan langkah-langkah keselamatan dilakukan melalui pengaturan lalu lintas yang memadai, penggunaan perlengkapan keselamatan, serta penyediaan rambu dan perangkat pengamanan lainnya sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

- Menjamin keselamatan personel, peralatan, dan pengguna jalan;
- Menerapkan manajemen lalu lintas selama kegiatan instalasi, kalibrasi, dan pemeliharaan;
- Menggunakan rambu dan perlengkapan keselamatan sesuai ketentuan.



Gambar 1 - Contoh penerapan manajemen lalu lintas dan perlengkapan keselamatan

4.6.2 Lingkungan

Pelaksanaan program pengumpulan data beban sumbu kendaraan harus memperhatikan aspek perlindungan lingkungan untuk memastikan bahwa seluruh kegiatan tidak menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan sekitar.

Setiap tahapan kegiatan, termasuk penggunaan peralatan dan material, harus direncanakan dan dilaksanakan dengan prinsip pencegahan pencemaran dan kerusakan lingkungan, serta meminimalkan gangguan terhadap kondisi eksisting.

Pengelolaan dampak lingkungan dilakukan melalui penerapan langkah-langkah pengendalian yang sesuai, termasuk pengelolaan limbah dan sisa material, serta pemenuhan ketentuan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

- Mencegah terjadinya kerusakan lingkungan akibat kegiatan;
- Mengendalikan dampak dari penggunaan peralatan dan material;
- Mengelola limbah sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

5 Ketentuan Teknis

5.1 Arsitektur Sistem WIM

5.1.1 Lapisan Sensor

Lapisan sensor merupakan lapisan paling bawah dalam arsitektur sistem WIM yang berfungsi untuk mendeteksi dan mengukur parameter kendaraan secara langsung di lokasi pengukuran. Dalam pelaksanaannya, lapisan sensor harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

- Menggunakan sensor WIM yang mampu mengukur beban sumbu dan/atau berat kendaraan secara dinamis;
- Dapat dilengkapi dengan sensor pendukung seperti *inductive loop* untuk mendeteksi keberadaan kendaraan, kecepatan, dan panjang kendaraan;
- Dipasang sesuai dengan ketentuan teknis instalasi untuk menjamin akurasi dan kestabilan pengukuran; dan
- Mampu beroperasi pada kondisi lingkungan dan lalu lintas sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan.

5.1.2 Lapisan Akuisisi Data

Lapisan akuisisi data berfungsi untuk menerima, merekam, dan mengolah sinyal dari sensor menjadi data digital. Lapisan ini harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

- Mampu membaca sinyal dari seluruh sensor secara simultan dan sinkron;
- Melakukan konversi sinyal analog menjadi data digital;
- Menyediakan fungsi pemrosesan awal (*pre-processing*) seperti *filtering* dan validasi sinyal;
- Menyimpan data sementara (*buffering*) sebelum dikirim ke sistem berikutnya; dan
- Terintegrasi dengan sistem waktu (*timestamping*) untuk menjamin sinkronisasi data.

5.1.3 Lapisan Pengolahan Data

Lapisan pengolahan data berfungsi untuk mengolah data hasil akuisisi menjadi informasi yang dapat digunakan. Lapisan ini harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

- Menghitung parameter utama meliputi beban sumbu, berat total kendaraan, kecepatan, dan klasifikasi kendaraan;
- Menerapkan algoritma kalibrasi dan koreksi untuk meningkatkan akurasi hasil pengukuran;
- Melakukan validasi data dan deteksi anomali; dan
- Mendukung analisis statistik untuk evaluasi kinerja sistem.

5.1.4 Lapisan Komunikasi

Lapisan komunikasi berfungsi untuk mengirimkan data dari lokasi WIM ke pusat data atau sistem pemantauan. Lapisan ini harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

- Menggunakan media komunikasi kabel dan/atau nirkabel sesuai dengan desain sistem;
- Menjamin keandalan dan keamanan transmisi data;
- Mendukung pengiriman data secara waktu nyata (*real-time*) atau *near real-time*;
- Meminimalkan kehilangan data (*data loss*) selama proses transmisi; dan
- Mendukung protokol komunikasi yang terstandarisasi.

5.1.5 Lapisan Penyimpanan Data

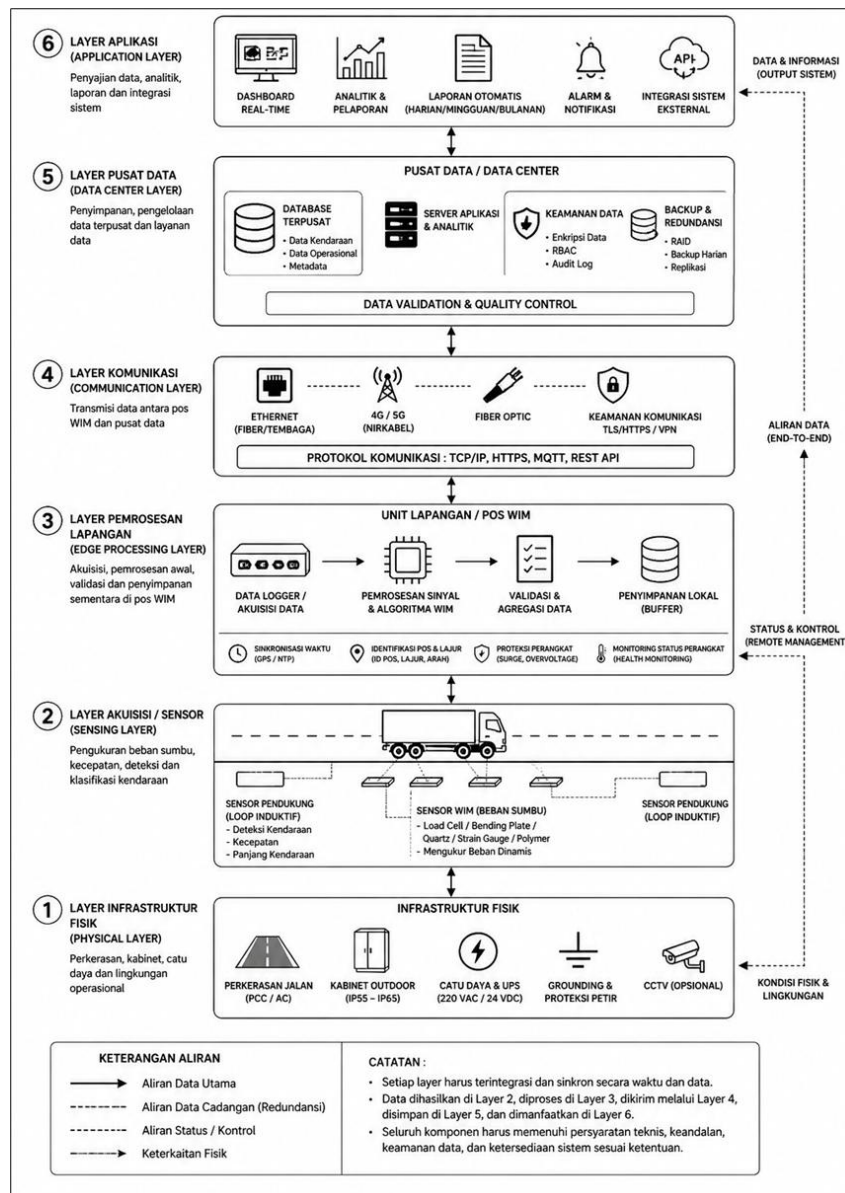
Lapisan penyimpanan data berfungsi untuk menyimpan data hasil pengukuran dan pengolahan secara terpusat. Lapisan ini harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

- a. Menyediakan kapasitas penyimpanan yang memadai untuk data historis;
- b. Menjamin integritas dan keamanan data;
- c. Mendukung mekanisme pencadangan (*backup*) dan pemulihan data (*recovery*); dan
- d. Memungkinkan akses data untuk keperluan analisis dan pelaporan

5.1.6 Lapisan Pemantauan dan Pengendalian

Lapisan pemantauan dan pengendalian berfungsi untuk menampilkan, mengelola, dan mengendalikan sistem WIM. Lapisan ini harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

- a. Menyediakan antarmuka pengguna (*user interface*) untuk pemantauan sistem;
- b. Menampilkan data hasil pengukuran secara waktu nyata;
- c. Memungkinkan pengaturan dan konfigurasi sistem secara lokal maupun jarak jauh;
- d. Menyediakan fitur pelaporan dan analisis data; dan
- e. Mendukung sistem peringatan (*alarm*) apabila terjadi gangguan atau penyimpangan.



Gambar 2 - Arsitektur lapis (layer) sistem WIM

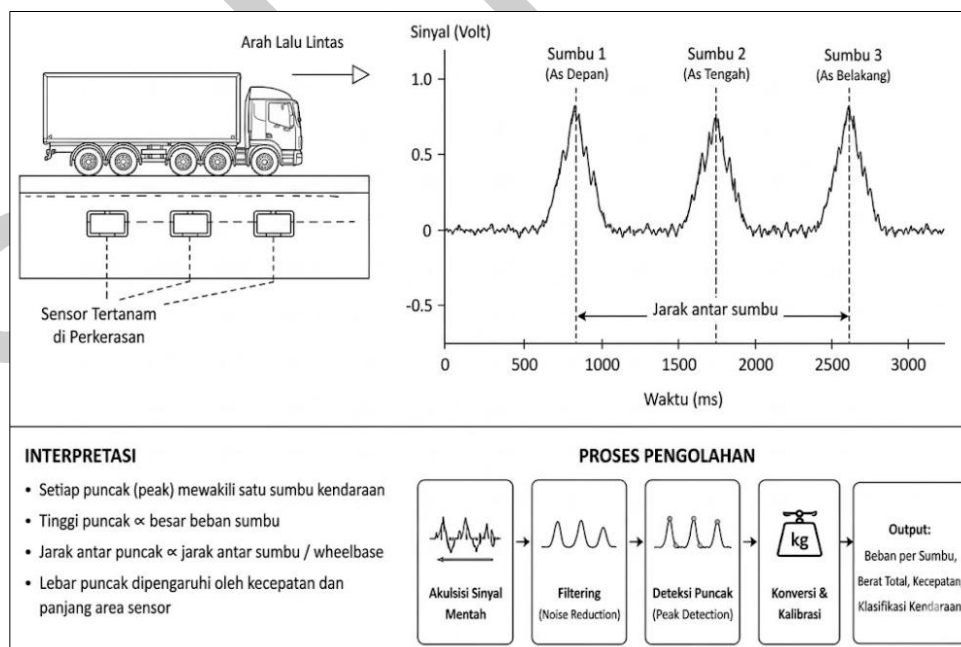
5.2 Mekanisme Operasi Sistem

Mekanisme operasi WIM mencakup seluruh rangkaian pengolahan data, mulai dari deteksi sensor hingga penyajian informasi kepada pengguna. Proses ini menerapkan prinsip berbasis kejadian (*event-based*) dengan memperlakukan setiap kendaraan yang melintas sebagai satu unit data utuh dan independen dengan tahapan sebagai berikut:

a. Tahap deteksi kendaraan, yang terdiri atas:

- 1) Pemicu awal: proses dimulai saat kendaraan melintas di atas area pengukuran.
- 2) Sensor deteksi: kendaraan terdeteksi menggunakan sensor WIM atau *inductive loop*.
- 3) Aktivasi sinyal: deteksi tersebut menghasilkan sinyal pemicu (*trigger*) sebagai penanda awal kejadian.
- 4) Referensi waktu: *trigger* ini berfungsi sebagai acuan waktu utama untuk seluruh rangkaian proses pengukuran selanjutnya.

- b. Tahap pembacaan multisensor
 - 1) Akuisisi simultan: sistem melakukan pembacaan sinyal dari seluruh sensor secara bersamaan dan sinkron segera setelah *trigger* aktif.
 - 2) Fungsi Sensor:
 - a) Sensor WIM merekam respons beban dinamis kendaraan.
 - b) Sensor pendukung (*Inductive Loop*): memberikan data keberadaan, kecepatan, serta panjang kendaraan.
 - 3) Sinkronisasi data: setiap sinyal dilengkapi dengan penanda waktu (*timestamp*) yang presisi untuk menjamin akurasi keterkaitan antar data.
- c. Tahap pembentukan *event* kendaraan
 - 1) Korelasi sinyal: sistem mengorelasikan sinyal dari seluruh sensor untuk membentuk satu kesatuan kejadian kendaraan (*vehicle event*).
 - 2) Identifikasi parameter: dilakukan identifikasi pada urutan sumbu, serta waktu masuk dan keluar kendaraan.
 - 3) Pengelompokan data: hubungan antar-sinyal dianalisis untuk memastikan seluruh data terkelompok secara konsisten dalam satu *record* data yang utuh.
- d. Pengolahan data
 - 1) Transformasi data mentah: mengolah data hasil akuisisi untuk menghasilkan parameter utama kendaraan.
 - 2) Ekstraksi dan perhitungan: melakukan ekstraksi sinyal serta penghitungan beban sumbu, berat total kendaraan (*Gross Vehicle Weight/GVW*), dan kecepatan.
 - 3) Analisis dimensi dan klasifikasi: menentukan jarak antar sumbu, panjang kendaraan, serta menetapkan klasifikasi kendaraan tersebut.
 - 4) Optimasi akurasi: menerapkan algoritma kalibrasi dan koreksi untuk meningkatkan akurasi hasil pengukuran akhir.



Gambar 3 - Mekanisme operasi sistem WIM

5.3 Data dan Informasi

5.3.1 Struktur dan Format Data

Data yang dihasilkan oleh sistem WIM harus disusun dalam struktur dan format yang terstandar sehingga dapat digunakan secara konsisten untuk pengolahan, analisis, dan integrasi antar sistem dengan mengikuti ketentuan:

- a. Struktur data harus mampu mengakomodasi seluruh parameter pengukuran serta informasi pendukung yang diperlukan untuk interpretasi data.
- b. Format data harus disusun secara sistematis dan seragam untuk seluruh lokasi pengumpulan data dengan ketentuan:
 - 1) Seluruh data menggunakan struktur *field* yang seragam konsisten antar lokasi;
 - 2) *Field* wajib (ID lokasi, waktu, GVW, beban sumbu, lajur, arah) terisi $\geq 95\%$;
 - 3) Tidak ada perbedaan satuan antar lokasi;
 - 4) Format data dapat diimpor ke sistem pengolahan tanpa konversi mayor ($\geq 90\%$ kompatibel langsung); dan
 - 5) Dokumentasi struktur data tersedia dan digunakan.

5.3.2 Parameter Minimum Data

Sistem WIM harus menghasilkan keluaran data yang komprehensif dengan menyertakan parameter-parameter dasar tertentu. Standar parameter yang harus dimuat dalam setiap rekaman data sekurang-kurangnya merujuk pada rincian yang ditetapkan dalam Tabel 2.

Tabel 2 - Parameter minimum data WIM

No	Parameter	Satuan	Keterangan
1	ID lokasi	-	Identitas ruas jalan
2	ID pos	-	Identitas titik pengukuran
3	Tanggal dan waktu	-	Timestamp pengukuran
4	Jenis kendaraan	-	Klasifikasi kendaraan
5	Jumlah sumbu	buah	Total sumbu kendaraan
6	Beban per sumbu	kg atau ton	Untuk setiap sumbu
7	Berat total kendaraan	kg atau ton	GVW
8	Kecepatan kendaraan	km/jam	Hasil pengukuran
9	Panjang kendaraan	meter	Opsional (jika tersedia)
10	Lajur	-	Lajur lalu lintas
11	Arah	-	Arah pergerakan
12	Status kualitas data	-	Valid/tidak valid

5.3.3 Pengelolaan Data Minimum

Setiap data yang dikelola dalam sistem harus memenuhi standar parameter minimum sesuai dengan ketentuan teknis yang berlaku. Ketentuan ini merujuk pada Tabel 3, yang menetapkan batasan atau jenis data yang harus tersedia untuk menjamin kualitas dan validitas informasi kendaraan yang dihasilkan.

Tabel 3 - Ketentuan minimum pengelolaan data

No	Aspek	Ketentuan Minimum	Keterangan
1	Penyimpanan data	≥ 5 tahun	Untuk analisis tren
2	<i>Backup</i> data	Harian	Otomatis
3	Redundansi data	Minimal 1 salinan	Sistem cadangan
4	Keamanan data	Akses terbatas	Berbasis pengguna
5	Integritas data	Tidak boleh berubah	Setelah validasi
6	Akses data	Terkontrol	Berdasarkan peran
7	Format data	Terstandar	Konsisten nasional

5.3.4 Output dan Produk Data

Sistem WIM harus menghasilkan *output* data yang dapat digunakan langsung untuk kebutuhan analisis teknis dan pengambilan keputusan.

- Output* data terdiri atas data primer (per kendaraan) dan data turunan (agregat dan analisis).
- Produk data harus disajikan dalam format yang mudah dipahami dan digunakan oleh pengguna dengan ketentuan:
 - Data per kendaraan tersedia lengkap $\geq 95\%$;
 - Data agregat (harian/mingguan/bulanan) tersedia secara otomatis;
 - Waktu ketersediaan data (*data latency*) ≤ 24 jam;
 - Output* dapat diekspor dalam format standar (CSV/Excel/API) $\geq 90\%$ kompatibel; dan
 - Tersedia minimal 3 jenis laporan: volume, distribusi beban, pola perubahan atau kecenderungan (tren).

5.3.5 Sinkronisasi Waktu

Sinkronisasi waktu diperlukan untuk menjamin kesesuaian waktu antar komponen sistem serta keakuratan urutan kejadian. Sistem harus menggunakan referensi waktu yang seragam dan terkalibrasi untuk seluruh perangkat dengan ketentuan:

- Deviasi waktu antar perangkat maksimum ± 1 detik;
- Sinkronisasi dengan sumber waktu standar (NTP/GPS) dilakukan secara otomatis;
- Tidak terdapat timestamp duplikat atau loncat ($\leq 1\%$ anomali waktu); dan
- Urutan data kronologis terjaga (100% *time-sequence valid*).

5.4 Tingkat akurasi Klasifikasi Pengukuran

Pemilihan sensor sangat berpengaruh terhadap kemampuan sistem beroperasi sesuai dengan rentang tingkat kepercayaan (δ) yang ditetapkan. Kemampuan sensor dalam memproses beban sumbu dan berat total kendaraan di bawah batasan operasional tertentu. Kaitan antara performa sensor dan parameter akurasi tersebut dirangkum dalam Tabel 4.

Tabel 4 - Klasifikasi kelas akurasi WIM

Kriteria pengukuran	Penggunaan	Kelas akurasi: rentang tingkat kepercayaan δ (%)						
		A (5)	B+ (7)	B (10)	C (15)	D+ (20)	D (25)	E
1. Berat total	Berat total > 3,5 ton	5	7	10	15	20	25	> 25
Beban sumbu:	Beban sumbu >1 ton							
2. Kelompok sumbu *		7	10	13	18	23	28	> 28
3. Sumbu tunggal		8	11	15	20	25	30	> 30
4. Sumbu dalam kelompok sumbu **		10	14	20	25	30	35	> 35
Kecepatan	$V > 30$ kph ⁽¹⁾	2	3	4	6	8	10	> 10
Jarak antar sumbu		2	3	4	6	8	10	> 10

Keterangan: X(Y):

X menunjukkan kelas akurasi (berurutan A, B+, B, C, D+, D, E) dan

Y menunjukkan deviasi berat total dalam persen

Sumber: COST323

Contoh:

Untuk konfigurasi sumbu tandem dengan berat keseluruhan 17 ton (sumbu 1 = 8 ton dan sumbu 2 = 9 ton)

*Berat Kelompok sumbu : 17 ton

**Sumbu dalam Kelompok sumbu : 8 ton untuk sumbu 1 dan 9 ton untuk sumbu 2

Sistem WIM diklasifikasikan berdasarkan tingkat akurasi pengukuran. Klasifikasi digunakan untuk menentukan tingkat keandalan hasil pengukuran beban kendaraan dan mendukung fungsi operasional hingga dugaan pelanggaran kelebihan muatan suatu kendaraan.

Tabel 5 - Klasifikasi kelas akurasi sistem WIM dan penggunaannya

Kelas	Penggunaan
A (5)	Digunakan untuk penegakan hukum, termasuk <i>enforcement</i> batas berat legal dan penyediaan nilai referensi resmi untuk inspeksi kendaraan.
B+ (7)	Digunakan untuk penegakan batas berat legal apabila kelas A tidak dapat dipenuhi, serta untuk seleksi awal kendaraan yang diduga <i>overloading</i> .
B (10)	Digunakan sebagai standar akurasi untuk analisis beban sumbu, grup sumbu, dan berat total, meliputi: desain perkerasan dan jembatan, evaluasi kerusakan jalan, perhitungan umur layanan, serta identifikasi awal pelanggaran muatan.
C (15) & D+ (20)	Digunakan untuk analisis statistik lanjutan, distribusi beban lalu lintas, serta klasifikasi kendaraan berbasis muatan untuk kajian infrastruktur jalan.
D (25)	Digunakan sebagai indikator beban untuk analisis statistik, kajian ekonomi dan teknik, serta klasifikasi kendaraan berbasis rentang berat secara umum.

Sumber: COST323

Apabila hasil evaluasi menunjukkan bahwa tingkat akurasi sistem melebihi batas yang ditetapkan pada Tabel 5, maka sistem WIM dinyatakan tidak memenuhi persyaratan akurasi.

Kondisi tersebut umumnya disebabkan oleh:

- Keterbatasan sistem;
- Ketidaksesuaian teknologi sensor, atau
- Kondisi lokasi pemasangan yang tidak memenuhi persyaratan.

Dalam kondisi tersebut, sistem WIM masih dapat dimanfaatkan secara terbatas untuk identifikasi komposisi lalu lintas serta analisis distribusi dan frekuensi beban kendaraan.

5.5 Komponen Sistem WIM

5.5.1 Sensor Penimbang

Sensor WIM merupakan komponen inti dalam sistem deteksi beban kendaraan yang harus bekerja secara dinamis di bawah kondisi lalu lintas berat. Instrumen ini dirancang untuk memberikan data beban sumbu dengan tingkat presisi tinggi tanpa menghambat arus kendaraan, sekaligus memiliki ketahanan struktur terhadap beban berulang dan variasi cuaca. Seluruh kinerja sensor wajib merujuk pada standar operasional serta prinsip dasar yang ditetapkan pada 5.1.1. Sensor WIM harus memenuhi ketentuan minimum sebagai berikut:

a. Kesesuaian fungsi

Parameter ini menetapkan batasan operasional agar sensor mampu menangkap profil kendaraan secara akurat;

- 1) Rentang beban, mampu mengukur beban sumbu mulai dari minimal 10 ton hingga 100 ton;
- 2) Kapasitas GVW, mendukung penghitungan berat total kendaraan (*gross vehicle weight*) hingga 120 ton secara standar, dan disarankan hingga 200 ton;
- 3) Fleksibilitas kecepatan, beroperasi secara optimal pada kecepatan 10–120 km/jam, dengan rentang rekomendasi yang lebih luas antara 5–140 km/jam;
- 4) Konfigurasi sistem, pemasangan menggunakan minimal 2 sensor per lajur secara sejajar (*in-line*) untuk menghitung kecepatan kendaraan dan jarak antar sumbu (*axle spacing*) secara presisi; dan
- 5) *Output* data, menghasilkan sinyal analog (baik *charge* maupun *voltage*) yang kompatibel dengan perangkat data *logger*.

b. Akurasi dan konsistensi

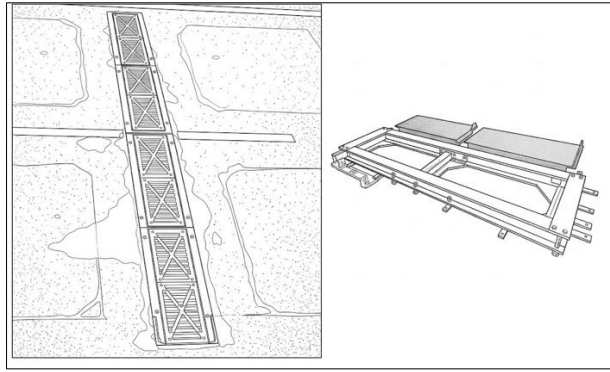
Menjamin kualitas data yang dihasilkan tetap berada dalam ambang batas toleransi:

- 1) Toleransi beban, akurasi beban sumbu operasional ditetapkan maksimal $\pm 15\%$, yang harus meningkat menjadi $\leq \pm 10\%$ setelah proses kalibrasi dilakukan.
- 2) Presisi GVW, kesalahan pengukuran berat total maksimal $\pm 10\%$ saat beroperasi, dan dioptimalkan hingga $\leq \pm 7\%$ setelah kalibrasi.
- 3) Stabilitas pengukuran, memiliki nilai repeatability (koefisien variasi) maksimal 5% serta *drift* tahunan (penurunan akurasi) tidak lebih dari $\pm 3\%$.
- 4) Linearitas, menjaga korelasi data yang konsisten dengan $R^2 \geq 0,98$ pada seluruh rentang operasi.

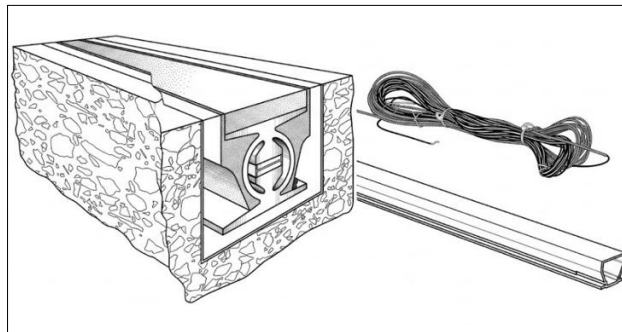
c. Ketahanan lingkungan

Memastikan sensor memiliki daya tahan jangka panjang terhadap faktor eksternal:

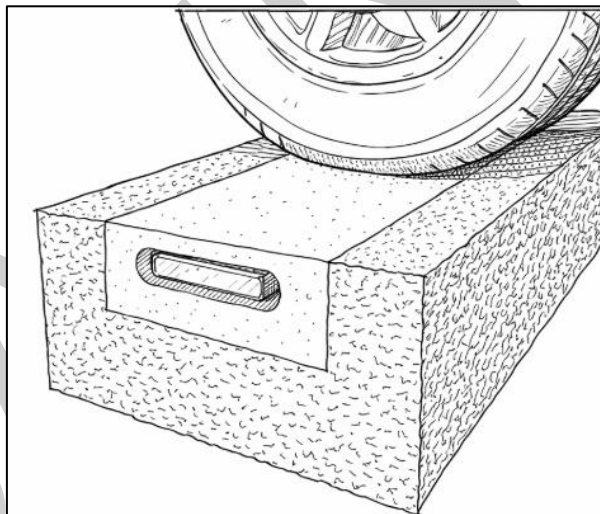
- 1) Suhu dan air: tahan terhadap suhu ekstrem (hingga $+70^\circ\text{C}$) serta memiliki proteksi terhadap masuknya air minimal dengan standar ip68.
- 2) Durabilitas: memiliki umur layanan minimal 3–5 tahun pada ruas jalan dengan lalu lintas berat serta mampu menahan siklus beban berulang hingga $\geq 10^7$.
- 3) Integrasi struktur: pemasangan dilakukan pada kedalaman 4–6 cm sesuai dengan karakteristik sensor dan jenis perkerasan jalan yang digunakan.



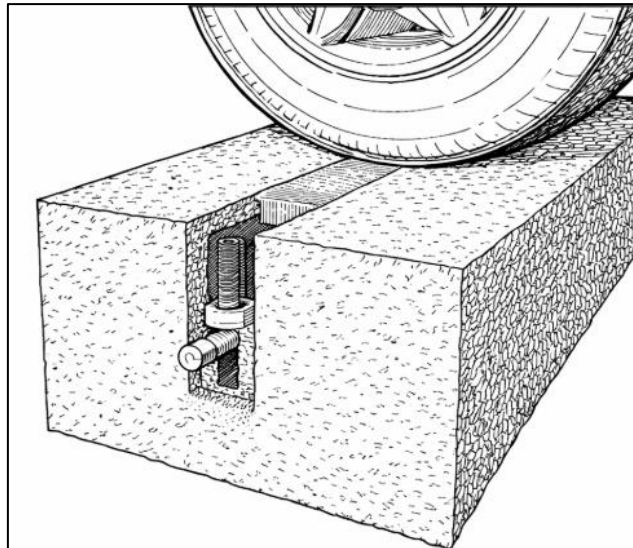
Gambar 4 - Sensor bending plate



Gambar 5 - Sensor piezoelektrik



Gambar 6 - Sensor strain gauge strip



Gambar 7 - Sensor strain polymerpiezo

Pemilihan jenis sensor penimbang untuk sistem WIM harus didasarkan pada kesesuaian antara tipologi struktur perkerasan eksisting dan rencana jadwal pemeliharaan berkala di lapangan. Berdasarkan standar ASTM E1318, variasi teknologi sensor menentukan fleksibilitas penempatan pada jenis perkerasan kaku (*Portland Cement Concrete/PCC*) maupun perkerasan lentur (*Asphalt Concrete/AC*). Selain itu, pertimbangan sirkulasi pemeliharaan sangat dipengaruhi oleh frekuensi kalibrasi dan sensitivitas sensor terhadap fluktuasi suhu lingkungan. Sensor berbasis material kristal atau logam (*Load Cell*, *Bending Plate*, dan *Quartz*) memiliki tingkat stabilitas tinggi terhadap suhu ekstrem dengan interval kalibrasi yang lebih panjang (12 hingga 24 bulan). Sebaliknya, sensor berbasis polimer memberikan kemudahan dan kecepatan instalasi, namun memerlukan recalibrasi yang lebih sering (6 hingga 12 bulan) akibat sifat material yang peka terhadap perubahan termal perkerasan.

Tabel 6 - Karakteristik sensor sistem WIM

Sensor Aplikasi	Load Cell	Bending Plate	Quartz Piezo	Strain Gauge Strip	Polymer Piezo
Tipe ASTM	I, II, III	I, II, III	I, II, III	I, II, III	II
Pemasangan pada perkerasan	PCC	PCC	PCC atau AC	PCC atau AC	PCC atau AC
Biaya Siklus Hidup	Tinggi	Sedang	Sedang	Sedang	Rendah
Akurasi (tergantung pola pemasangan)	Tinggi	Tinggi	Tinggi	Tinggi	Rendah
Waktu Instalasi	Lama	Sedang	Sedang	Sedang	Cepat
Pemeliharaan	Tinggi	Tinggi	Rendah	Rendah	Rendah
Frekuensi Kalibrasi (bulan)	18 – 24	18 – 24	12 – 18	12 – 18	6 – 12 atau Inisial + Auto Kalibrasi
Pengaruh suhu	Tidak	Tidak	Rendah	Rendah	Tinggi

Sumber: LTBP Program's Literature Review on Weigh-in-Motion Systems, FHWA I2016)

Dalam perencanaan anggaran dan kelayakan finansial jangka panjang, pemilihan sensor tidak hanya didasari oleh besaran nilai investasi awal melainkan harus memperhitungkan total biaya

siklus hidup tahunan serta umur layan struktural sensor tersebut. Terdapat hubungan terbalik antara biaya instalasi awal dengan biaya operasional tahunan. Sebagai contoh, teknologi *Single Load Cell* memerlukan biaya investasi awal yang paling tinggi, namun kompensasi performa yang diberikan berupa keandalan (*reliability*) tingkat tinggi serta umur layan terpanjang hingga 12 tahun dengan tingkat deviasi akurasi terkecil ($\pm 6\%$). Teknologi *Piezo Quartz* dan *Bending Plate* memiliki nilai optimal (*optimum threshold*) antara efisiensi biaya investasi menengah dengan rentang umur layan yang panjang (6 hingga 15 tahun), tetapi harus dipertimbangkan kinerja *Piezo Quartz* sangat sensitif terhadap kondisi kerataan permukaan dan kondisi struktural perkerasan di sekitarnya.

Tabel 7 - Perbandingan akurasi dan biaya sensor per lajur

Jenis Sensor Alat Timbang	Akurasi (Persentase kesalahan perhitungan JBB/GVW terhadap kecepatan kendaraan)	Perkiraan Biaya per Lajur (12 tahun umur pemakaian)
<i>Piezoelectric</i>	± 10 sampai 15 %	\$4.200 (tahun 2001)
<i>Bending Plate</i>	± 5 sampai 10%	\$5.000 (tahun 2001)
<i>Load Cell</i>	± 3 sampai 6%	\$7.300 (tahun 2001)
<i>Quartz</i>	$\pm 10\%$	\$7.500 (tahun 2001)

Sumber: (FHWA, 2017)

Tabel 8 - Perbandingan biaya siklus hidup sensor

Kategori		<i>Piezo-Electric</i>	<i>Bending Plate</i>	<i>Single Load Cell</i>	<i>Piezo Quartz</i>
Biaya per lajur	Biaya Instalasi	Rendah (\$ 9.000)	Menengah (\$ 20.000)	Tinggi (\$ 50.000)	Menengah (\$ 20.000)
	Biaya siklus hidup tahunan	Rendah (\$ 5.000)	Menengah (\$ 6.000)	Tinggi (\$ 8.000)	Tinggi
Akurasi (GVW, 95% Confidence)		+/- 15 %	+/- 10 %	+/- 6 %	+/- 10 %
Sensitivitas		Tinggi	Menengah	Rendah	Sensitif terhadap kondisi perkerasan
Umur layan		4 tahun	6 tahun	12 tahun	15 tahun
Keandalan		Rendah	Menengah	Tinggi	Menengah

Sumber: FHWA (2017)

5.5.2 Sensor Inductive Loop

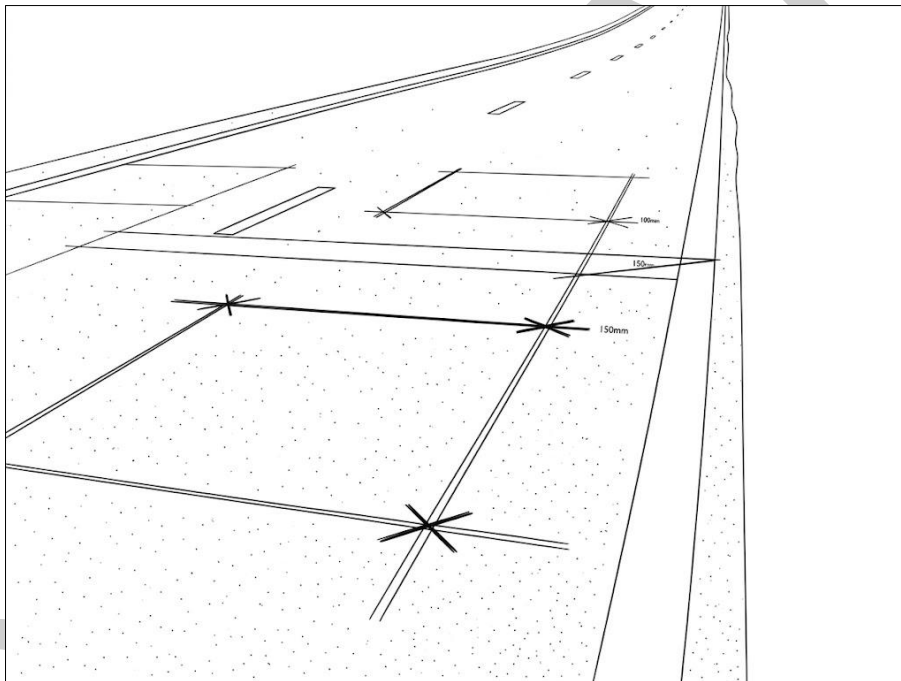
Sensor *inductive loop* berfungsi untuk melakukan deteksi keberadaan kendaraan, pengukuran kecepatan, serta validasi data akuisisi. Persyaratan minimum untuk sensor *inductive loop* adalah sebagai berikut:

a. Kesesuaian fungsi

Aspek ini sebagai jaminan kinerja sensor dalam menangkap pergerakan kendaraan di atas lajur pengukuran:

- 1) Keandalan deteksi, tingkat akurasi dalam mendeteksi kehadiran kendaraan harus mencapai minimal 99%;
- 2) Presisi kecepatan, toleransi kesalahan dalam pengukuran kecepatan kendaraan tidak boleh melebihi $\pm 2\%$;
- 3) Respons waktu, memiliki resolusi waktu pemicu (*trigger*) yang sangat cepat, yakni maksimal 1 ms, untuk sinkronisasi data yang presisi;

- 4) Dimensi kendaraan, kesalahan dalam estimasi panjang kendaraan dibatasi maksimal $\pm 5\%$; dan
 - 5) Konfigurasi geometris, jarak penempatan antar sensor *loop* dalam satu lajur harus berada pada rentang 2 m hingga 4 m untuk optimasi perhitungan kecepatan.
- b. Keterpaduan sistem
- Aspek ini mengatur spesifikasi kelistrikan dan daya tahan operasional perangkat:
- 1) Parameter elektrik, bekerja pada tegangan operasional 12–24 VDC dengan *output* sinyal digital (berupa *tTL*, *pulse*, atau *relay*).
 - 2) Kecepatan respon, waktu respon sistem secara keseluruhan harus berada di bawah atau sama dengan 10 ms.
 - 3) Daya tahan perangkat, memiliki standar keandalan tinggi dengan *mean time between failure* (MTBF) sekurang-kurangnya 50.000 jam operasional.
 - 4) Stabilitas sinyal, desain sistem harus mampu meminimalisir interferensi silang (*cross-talk*) antar sensor hingga maksimal 1% guna mencegah pembacaan data ganda atau gangguan sinyal.



Gambar 8 - Sensor *loop* induktif terpasang pada perkerasan jalan

5.5.3 Komunikasi

Sistem komunikasi berfungsi untuk menghubungkan unit lapangan WIM dengan pusat data guna memastikan proses transmisi data berjalan secara andal, aman, dan *real-time*. Sistem komunikasi harus memenuhi persyaratan teknis sebagai berikut:

a. Keterpaduan sistem

Aspek ini mengatur kapabilitas transmisi dan performa jaringan yang harus disediakan:

- 1) Media komunikasi, mendukung penggunaan *ethernet*, kabel serat optik (*fiber optic*), serta jaringan seluler generasi terbaru (4 g / 5 g).

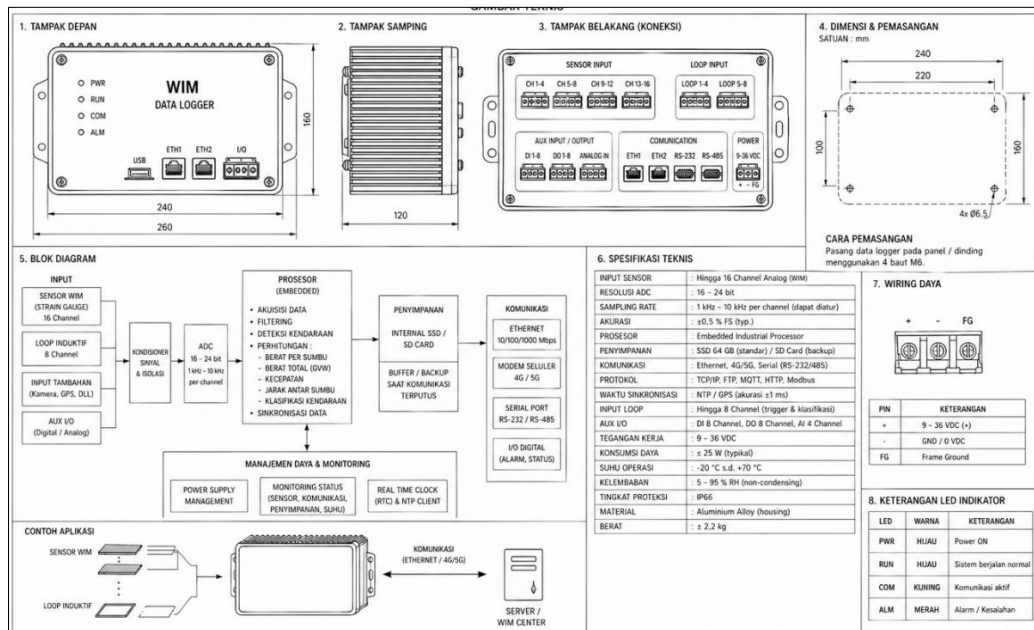
- 2) Lebar pita (*bandwidth*), diwajibkan memiliki *bandwidth* minimal sebesar 1 mbps per lokasi, dengan rekomendasi optimal sebesar 5 mbps untuk kelancaran pengiriman data yang lebih besar.
 - 3) Kecepatan transmisi (latensi), keterlambatan pengiriman data dari ujung ke ujung (*end-to-end*) tidak boleh melebihi 500 ms.
 - 4) Kualitas jaringan, tingkat kehilangan paket data (*packet loss*) harus dijaga pada angka maksimal 1% guna meminimalisir kegagalan pengiriman.
 - 5) Standar protokol, menggunakan protokol standar industri seperti *tcp/ip*, *https*, *mqtt*, atau *rest api* untuk integrasi data yang stabil.
- b. Keamanan komunikasi
- Aspek ini berfokus pada perlindungan data selama proses transmisi agar terhindar dari penyadapan atau manipulasi:
- 1) Protokol enkripsi, seluruh pertukaran data wajib dilindungi menggunakan standar *tls* 1,2 atau *tls* 1,3.
 - 2) Jaringan privat, sebagai opsi keamanan tambahan, dapat diimplementasikan *vpn site-to-site* melalui *ipsec* atau *openvpn*.
 - 3) Autentikasi, pengaturan akses sistem dilakukan melalui mekanisme autentikasi berbasis peran (*role-based access control*).
 - 4) Memantau keamanan, setiap aktivitas jaringan harus tercatat dalam *log* keamanan dengan masa retensi minimal 90 hari.
 - 5) Keamanan perangkat, melakukan penguatan (*hardening*) pada seluruh perangkat jaringan, termasuk menonaktifkan porta (*port*) yang tidak digunakan untuk menutup celah keamanan.

5.5.4 Sistem Akuisisi Data (*Data Logger*)

Data logger berfungsi sebagai unit akuisisi, pengolah, dan perekam data dari sensor WIM sebelum dikirim ke pusat data. Spesifikasi teknis yang harus dipenuhi oleh *data logger* mencakup:

- a. Keterpaduan sistem
- Parameter ini memastikan perangkat memiliki performa pemrosesan sinyal yang memadai untuk akurasi data beban:
- 1) Kapasitas input, memiliki minimal 8 kanal analog per lajur untuk mengakomodasi berbagai konfigurasi sensor.
 - 2) Kecepatan sampling, frekuensi pengambilan data ditetapkan minimal 2 khz per kanal, dengan rekomendasi 5 khz - 10 khz untuk menangkap profil beban dinamis secara mendetail.
 - 3) Resolusi digital, menggunakan *ADC* minimal 16 bit untuk memastikan gradasi data yang halus, dengan rekomendasi 24 bit untuk presisi tinggi.
 - 4) Sinkronisasi, keselarasan waktu antar kanal harus dijaga dengan deviasi maksimal ± 1 ms guna menjamin integritas data kendaraan yang melintas.
 - 5) Multifungsi input, perangkat wajib mendukung berbagai jenis input, baik analog (*charge/voltage*) dari sensor beban maupun digital dari sensor pemicu (*trigger*).
- b. Keandalan sistem
- Aspek ini menjamin operasional perangkat tetap stabil di lapangan
- 1) Penyimpanan cadangan, dilengkapi dengan *buffer* lokal yang mampu menyimpan data operasional minimal selama 24 jam apabila terjadi kegagalan koneksi.

- 2) Kecepatan *boot*, sistem harus mampu beroperasi kembali dalam waktu maksimal 60 detik setelah dinyalakan atau setelah pemulihan daya.
- 3) perlindungan kelistrikan, memiliki ketahanan terhadap lonjakan tegangan (*surge protection*) minimal sebesar 2 kv untuk melindungi komponen internal dari gangguan listrik.
- 4) Stabilitas operasi, menjamin tingkat ketersediaan sistem (*uptime*) minimal 99% untuk meminimalisir risiko kehilangan data kendaraan.
- 5) Ketahanan lingkungan, dirancang untuk bekerja secara optimal pada rentang suhu operasional yang luas, mulai dari -20 °C hingga +60 °C.



Gambar 9 - Contoh bentuk, spesifikasi, dan aplikasi data logger

5.5.5 Sistem Penyimpanan Data

Untuk menjamin keberlangsungan operasional dan validitas informasi yang dihasilkan oleh WIM, infrastruktur penyimpanan data harus dirancang dengan standar keandalan dan keamanan yang tinggi. Ketentuan ini mencakup dua aspek utama, yaitu kemampuan sistem dalam menjaga ketersediaan data (*availability*) secara kontinu serta perlindungan terhadap kerahasiaan dan integritas data dari akses yang tidak sah.

Seluruh komponen penyimpanan, baik di level lokal maupun pusat data, wajib mengikuti kriteria teknis berikut:

a. Keandalan penyimpanan

Aspek ini memastikan data tetap tersedia dan dapat dipulihkan dengan cepat:

- 1) Kapasitas lokal, menyediakan penyimpanan di lokasi minimal untuk 30 hari data operasional sebagai langkah redundansi.
- 2) Kapasitas pusat data, penyimpanan terpusat harus bersifat skalabel dengan masa simpan data minimal 2 tahun.
- 3) *Backup* data, implementasi pencadangan dilakukan secara inkremental setiap hari dan pencadangan penuh (*full*) setiap minggu.

- 4) Pemulihan sistem, batasan waktu pemulihan atau *Recovery Time Objective* (RTO) ditetapkan maksimal 4 jam setelah terjadi kegagalan.
- 5) *Availability*, sistem harus menjamin tingkat ketersediaan layanan minimal 99,5%.

b. Keamanan data

Aspek ini menjaga kerahasiaan dan integritas setiap rekaman data:

- 1) Integritas data, penggunaan mekanisme *checksum* atau *hash* pada setiap *record* untuk menjamin data tidak mengalami perubahan.
- 2) Redundansi perangkat, penerapan teknologi raid 1, 5, atau 10 untuk mencegah kehilangan data akibat kerusakan cakram keras.
- 3) Kontrol akses, pengaturan hak akses pengguna berbasis peran atau *Role-Based Access Control* (RBAC).
- 4) Enkripsi, perlindungan data yang tersimpan (*at-rest*) direkomendasikan menggunakan standar enkripsi *aes-256*.
- 5) Log audit, catatan aktivitas sistem harus disimpan sebagai log audit dengan masa retensi minimal 180 hari.

5.5.6 Sistem Pemantauan dan Pengendalian

Sistem pemantauan dan pengendalian berfungsi sebagai antarmuka utama bagi operator untuk mengawasi operasional WIM secara menyeluruh. Agar pemantauan berjalan efektif, sistem harus mampu menyajikan data secara dinamis, menyediakan peringatan dini terhadap anomali, serta memastikan aksesibilitas bagi pengguna berwenang dengan tingkat respons yang optimal. Persyaratan teknis untuk sistem ini dibagi menjadi dua kategori utama:

a. Kesesuaian fungsi

Aspek ini menentukan kapabilitas fungsional yang harus dimiliki perangkat lunak monitoring untuk mendukung pengambilan keputusan:

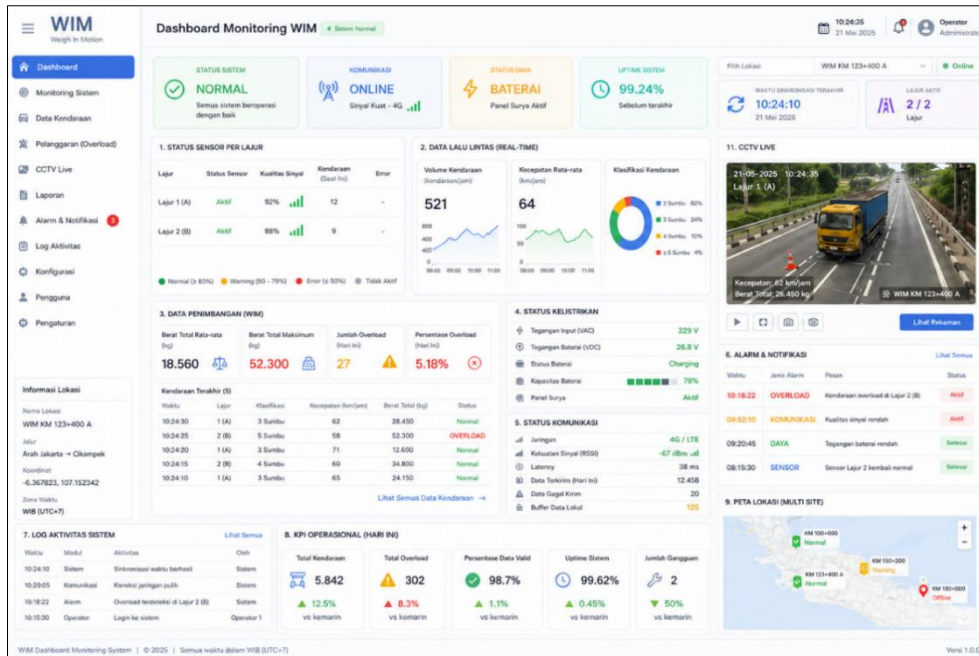
- 1) Kecepatan data, *refresh* data harus dilakukan secara *real-time* dengan jeda maksimal 5 detik.
- 2) Visualisasi *dashboard*, minimal menyajikan informasi visual terkait volume lalu lintas, klasifikasi kelas kendaraan, berat total (*Gross Vehicle Weight/GVW*), dan indikasi kelebihan muatan (*overload*).
- 3) Pelaporan otomatis, kemampuan untuk menghasilkan laporan periodik (harian, mingguan, dan bulanan) tanpa intervensi manual.
- 4) Sistem notifikasi, dilengkapi alarm otomatis untuk mendeteksi pelanggaran beban (*overload*), kerusakan sensor (*sensor fault*), maupun gangguan koneksi (komunikasi putus).
- 5) Interoperabilitas, menyediakan antarmuka pemrograman aplikasi (API) berbasis *rest/json* untuk memudahkan integrasi dengan sistem eksternal lainnya.

b. Operabilitas dan pemeliharaan

Aspek ini memastikan sistem dapat dioperasikan dan dipelihara dengan mudah dan aman:

- 1) Aksesibilitas jarak jauh: mendukung koneksi jarak jauh yang aman melalui protokol HTTPS atau VPN.
- 2) Performa antarmuka: waktu respon navigasi antar halaman atau menu maksimal 3 detik untuk menjaga efisiensi kerja operator.
- 3) Keandalan operasional: batasan waktu henti (*downtime*) untuk keperluan pemeliharaan rutin tidak boleh melebihi 2 jam per bulan.

- 4) Kapasitas pengguna: mendukung akses simultan minimal untuk 10 pengguna tanpa penurunan performa sistem yang signifikan.
- 5) *Audit trail*: menyediakan log aktivitas sistem yang mencatat setiap tindakan pengguna selama minimal 90 hari terakhir.



Gambar 10 - Contoh dashboard sistem WIM

5.5.7 Kelistrikan dan Catu Daya

Sistem kelistrikan dan catu daya merupakan komponen operasional yang memastikan seluruh komponen elektronik WIM bekerja tanpa henti di lokasi lapangan. Mengingat lokasi instalasi seringkali berada pada area terbuka dengan paparan cuaca ekstrem dan risiko gangguan listrik, sistem ini harus dirancang mampu mencegah kerusakan perangkat dan kehilangan data. Persyaratan teknis untuk sistem kelistrikan dan catu daya kabinet penyimpanan adalah sebagai berikut:

a. Keandalan daya

Aspek ini menjamin stabilitas energi listrik untuk mendukung operasional perangkat sistem secara kontinu:

- 1) Tegangan utama: mendukung sumber listrik standar 220 VAC dengan toleransi fluktuasi tegangan sebesar $\pm 10\%$.
- 2) Cadangan daya (UPS): wajib dilengkapi dengan UPS (*Uninterruptible Power Supply*) yang mampu menjaga sistem tetap menyala selama minimal 2 hingga 4 jam saat terjadi pemutusan arus utama.
- 3) Konversi daya: menyediakan *output* DC sebesar 24 V untuk menyuplai daya ke sensor dan perangkat pengolah data.
- 4) Perlindungan lonjakan: dilengkapi proteksi *surge* listrik dengan kapasitas minimal 10 kA untuk menangkalkan lonjakan arus mendadak.
- 5) Sistem pembumian: resistansi *grounding* sistem harus dijaga pada nilai maksimal 5 Ohm guna menjamin keamanan perangkat dan operator.

b. Ketahanan Lingkungan

Aspek ini memastikan seluruh perangkat kontrol terlindungi dari faktor eksternal di lokasi jalan raya:

- 1) Spesifikasi kabinet: menggunakan kabinet luar ruang (*outdoor cabinet*) dengan tingkat proteksi debu dan air antara IP55 hingga IP65.
- 2) Temperatur kerja: kabinet harus mampu menjaga kondisi internal agar tetap aman pada rentang suhu luar -20 °C hingga +50 °C.
- 3) Pengaturan suhu: dilengkapi dengan sistem ventilasi aktif atau unit pendingin apabila beban panas internal melebihi ambang batas operasional.
- 4) Proteksi petir: integrasi antara sistem pembumian dan *Surge Protective Device* (SPD) yang komprehensif untuk melindungi dari sambaran petir.
- 5) Pemantauan visual (opsional): dapat dilengkapi dengan sistem CCTV beresolusi minimal 1080 p dan kapasitas penyimpanan data rekaman sekurang-kurangnya 7 hari untuk keperluan pengawasan keamanan lokasi.

5.6 Persyaratan Lokasi dan Pos

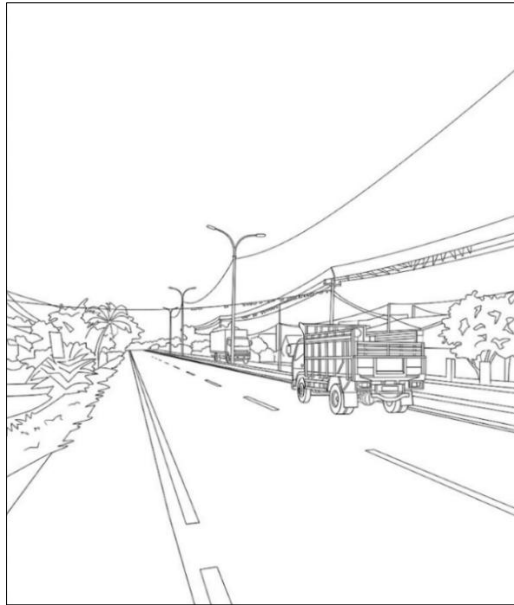
5.6.1 Lokasi

Penentuan lokasi pengumpulan data dalam koridor jaringan jalan dilakukan untuk mengevaluasi kelayakan ruas jalan secara makro sebagai lokasi potensial penempatan sistem WIM. Evaluasi ini digunakan sebagai tahapan awal (*screening*) sebelum dilakukan penentuan titik pos secara lebih detail berdasarkan kondisi geometrik, lalu lintas, dan infrastruktur pendukung. Koridor terpilih harus merupakan jalur logistik utama yang membutuhkan pengumpulan data spesifik dan memperhatikan:

a. Kinerja dan karakteristik lalu lintas

Ruas jalan wajib memiliki aliran lalu lintas yang stabil (*traffic regime stability*) dengan ketentuan:

- 1) Komposisi kendaraan: didominasi kendaraan berat ($\geq 15\%$) dan memiliki pergerakan angkutan barang yang menerus.
- 2) Stabilitas kecepatan: kecepatan operasi relatif stabil (≥ 40 km/jam untuk urban *fringe* dan ≥ 60 km/jam untuk arteri/tol).
- 3) Aliran konsisten: menghindari kondisi *stop-and-go*, kemacetan permanen, atau gangguan lalu lintas berulang (seperti dekat pasar atau sekolah).
- 4) Prioritas lajur: jika anggaran terbatas, sensor diprioritaskan pada lajur yang dominan digunakan kendaraan berat.



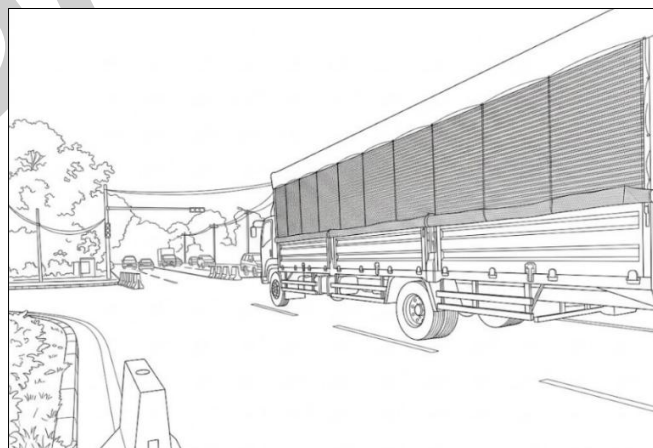
Gambar 11 - Rencana penempatan sensor pada lajur yang digunakan kendaraan berat

b. Fungsi, hierarki, dan guna lahan

- 1) Prioritas, jalan arteri primer, kolektor strategis, ruas logistik/industri, jalan nasional, atau jalan tol.
- 2) Larangan lokasi, tidak disarankan pada jalan lokal, pemukiman padat, atau area dengan manajemen lalu lintas yang membatasi operasional kendaraan berat.
- 3) Guna lahan, lokasi tidak boleh mengganggu karakteristik pergerakan (manuver ekstrem) atau berada di area yang memaksa kendaraan tidak bergerak konsisten pada alurnya.

c. Kondisi geometrik jalan

- 1) Alinyemen, diutamakan segmen lurus dengan alinyemen horizontal stabil (minim tikungan tajam).
- 2) Kelandaian, medan datar dengan kelandaian longitudinal rendah; menghindari tanjakan/turunan ekstrem atau medan bukit/gunung.
- 3) Kontrol akses, minim akses langsung (persil) dan persimpangan yang dapat memengaruhi fluktuasi kecepatan truk.



Gambar 12 - Keberadaan simpang terhadap pergerakan dan kecepatan kendaraan truk

d. Spesifikasi dan kondisi perkerasan

- 1) Homogenitas: struktur perkerasan harus seragam (aspal atau beton) tanpa transisi material yang sering.
- 2) Kualitas permukaan: nilai *International Roughness Index* (IRI) ≤ 4 m/km dan bebas dari kerusakan struktural berat (retak/deformasi).
- 3) Kompatibilitas: jenis dan properti perkerasan harus memenuhi spesifikasi teknis dari produsen sensor.



Gambar 13 - Pemeriksaan rata-rata permukaan perkerasan

e. Infrastruktur pendukung dan ruang sisi jalan

- 1) Utilitas, ketersediaan jaringan listrik dan akses komunikasi (seluler/fiber optik) yang kontinu.
- 2) Ruang samping, tersedia ruang sisi jalan yang cukup untuk penempatan perangkat pendukung serta akses pemeliharaan

f. Stabilitas operasional jangka panjang

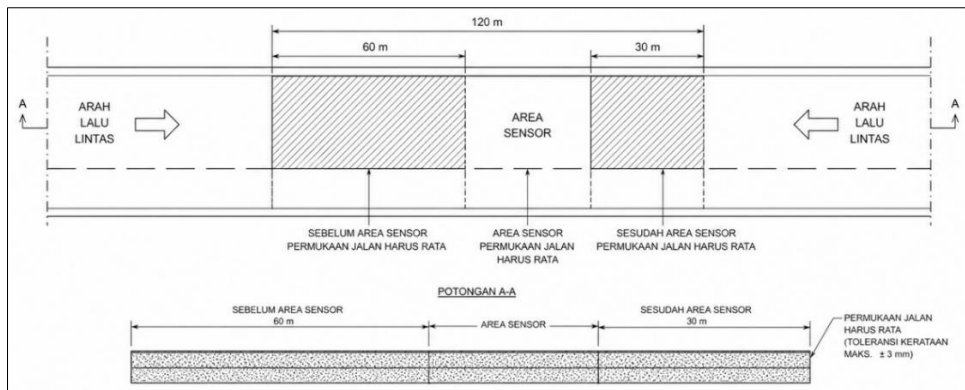
- 1) Rencana penanganan, ruas jalan tidak masuk dalam rencana pelebaran atau rekonstruksi mayor dalam 3 hingga 5 tahun ke depan.
- 2) Keberlanjutan, tidak berada di area rawan perubahan fungsi jalan atau proyek konstruksi aktif yang dapat mengganggu integritas sensor.

5.6.2 Pos

5.6.2.1 Geometri

Sistem WIM harus ditempatkan pada pos dan konfigurasi geometrik jalan yang memenuhi kondisi operasional stabil untuk menjamin akurasi pengukuran. Penentuan lokasi pos WIM wajib memperhatikan zona stabil agar distribusi beban sumbu dapat terbaca secara konsisten dan akurat. Persyaratan geometrik yang harus dipenuhi meliputi:

- a. Zona stabil: menyediakan panjang area datar dan lurus sekurang-kurangnya 60 meter sebelum sensor dan 30 meter sesudah lokasi sensor.



Gambar 14 - Zona stabil untuk penempatan sensor

- Kelandaian memanjang, kemiringan jalan ditetapkan maksimal 2%, dengan rekomendasi teknis yang lebih ideal sebesar $\leq 1\%$.
- Kemiringan melintang, batas kemiringan melintang (*cross-slope*) jalan tidak boleh melebihi 2% untuk mencegah pergeseran titik berat kendaraan ke salah satu sisi.
- Radius tikungan, lokasi harus berada pada segmen jalan lurus atau tikungan dengan radius minimal 1.700 m untuk menghindari gaya sentrifugal yang dapat mempengaruhi hasil timbangan.
- Lebar lajur, lajur tempat instalasi sensor harus memiliki lebar minimal 3,0 m guna memastikan kendaraan melintas tepat di atas area deteksi.
- Kekasaran jalan (IRI), kondisi permukaan jalan disarankan memiliki nilai *International Roughness Index* (IRI) ≤ 3 m/km untuk menjamin kehalusan lintasan.
- Elevasi lokal, penyimpangan atau deviasi elevasi pada permukaan area sensor tidak boleh lebih dari 3 mm untuk menjaga kerataan bidang kontak roda.

5.6.2.2 Operasional Lalu Lintas

Penentuan pos harus menjamin bahwa kendaraan melintas dengan kecepatan yang konsisten dan dalam lintasan yang tetap pada alurnya. Pemilihan pos wajib menghindari area-area yang menyebabkan fluktuasi kecepatan maupun perubahan posisi kendaraan secara mendadak, dengan ketentuan sebagai berikut:

- Pos tidak berada pada area akselerasi atau deselerasi (simpang, gerbang tol, jembatan, akses, lampu lalu lintas);
- Tidak berada pada zona perubahan kecepatan kendaraan;
- Tidak terdapat perubahan jumlah lajur pada area pengukuran untuk menghindari perpindahan lajur kendaraan.

5.6.2.3 Karakteristik Perkerasan

Pos WIM diklasifikasikan ke dalam tiga kelas utama (Kelas I, II, dan III) berdasarkan kondisi struktural dan fungsionalnya yang mencakup kedalaman alur (*rutting*), nilai lendutan (*deflection*), serta tingkat kerataan jalan. Kriteria penilaian kualitas perkerasan ditetapkan sebagai berikut:

- Klasifikasi berdasarkan kedalaman alur
Kedalaman alur pada jejak roda harus dibatasi untuk mencegah efek guncangan berlebih pada kendaraan:

Tabel 9 - Nilai alur yang diizinkan

Kelas	Kedalaman Maksimum (mm)
I	≤ 4
II	≤ 7
III	≤ 10

b. Ambang batas lendutan (defleksi)

Nilai lendutan menunjukkan kekakuan struktur perkerasan terhadap beban. Kriteria ini dibedakan berdasarkan jenis uji (*Quasi-Static* 13T dan Dinamis 5T) serta tipe perkerasan (Semi-kaku, *All-bitumen*, dan Lentur). Untuk perkerasan pelat beton, gerakan patahan pelat dibatasi sangat ketat antara 0,05 mm hingga 0,10 mm.

Tabel 10 - Nilai lendutan rata-rata (10-2 mm) yang diizinkan

Jenis uji	Jenis perkerasan	Kelas I	Kelas II	Kelas III
<i>Quasi-Static</i> (Sumbu 13T)	Semi-kaku	≤ 15	≤ 20	≤ 30
	<i>All bitumen</i>	≤ 20	≤ 35	≤ 50
	Lentur	≤ 30	≤ 50	≤ 75
Dinamis (Beban 5T)	Semi-kaku	≤ 10	≤ 15	≤ 20
	<i>All bitumen</i>	≤ 15	≤ 25	≤ 30
	Lentur	≤ 20	≤ 35	≤ 45

Catatan:

- Kriteria defleksi tidak berlaku untuk perkerasan beton nilainya harus jauh lebih kecil daripada batas yang diizinkan. Pada perkerasan pelat beton, gerakan patahan pelat harus dibatasi hingga 0,05 mm untuk lokasi di Kelas I dan hingga 0,10 mm untuk lokasi di kelas II dan III.
- Defleksi *quasi-static* diukur menggunakan deflektogram (rangka panjang) dengan beban gandar 13 T pada kecepatan 2 hingga 3,5 km/jam; koreksi linier dapat dilakukan untuk beban gandar lainnya. Prosedur pengukurannya adalah sebagai berikut: jalur roda kiri dan kanan diukur setiap 3,5 m; nilai terbesar dari kedua nilai tersebut diambil; kemudian nilai rata-rata dihitung sepanjang 200 m (sensor WIM berada di tengah). Perbedaan antara nilai kiri dan kanan tidak boleh melebihi angka yang diberikan dalam Tabel 4 pada jarak kurang dari 4,2 m dari sensor WIM.

Tabel 11 - Perbedaan alur kiri/kanan (10-2 mm) yang diizinkan

Jenis uji	Jenis perkerasan	Kelas I	Kelas II	Kelas III
<i>Quasi-Static</i> (Sumbu 13T)	Semi-kaku	±3	±5	±10
	<i>All bitumen</i>	±4	±8	±12
	Lentur	±7	±10	±15
Dinamis (Beban 5T)	Semi-kaku	±2	±4	±7
	<i>All bitumen</i>	±3	±6	±9
	Lentur	±5	±7	±10

Catatan:

Batas defleksi dinamis didasarkan pada pengukuran depan, menggunakan Dynatest 8000, dengan beban uji 5 ton, dan suhu referensi 20°C. Koreksi linier dapat dilakukan untuk beban lain. Disarankan untuk melakukan setidaknya tiga pengukuran di setiap jalur roda untuk bagian yang dipertimbangkan, dan menerapkan prosedur yang sama seperti pada (ii) untuk menghitung defleksi rata-rata.

c. Ketidakrataan jalan (IRI)

Tingkat ketidakrataan permukaan diukur menggunakan indikator IRI (*International Roughness Index*):

Tabel 12 - Kerataan yang diizinkan

Parameter	Kelas I	Kelas II	Kelas III
IRI (m/km)	0 – 1,3	1,3 – 2,6	2,6 – 4

d. Persyaratan teknis perkerasan

Selain klasifikasi di atas, area pemasangan sensor harus memenuhi standar teknis konstruksi untuk menjamin durabilitas sensor dan validitas data:

- 1) Integritas struktur, tidak boleh terdapat diskontinuitas struktur pada area sensor untuk menjaga keseragaman distribusi beban.
- 2) Dimensi lapisan, ketebalan lapisan struktur tempat sensor tertanam minimal harus ≥ 10 cm.
- 3) Homogenitas, sensor harus dipasang pada lapisan material yang homogen dan dilarang dipasang tepat pada sambungan antar lapisan atau sambungan konstruksi.
- 4) Kondisi permukaan, permukaan jalan harus dalam kondisi andal, bebas dari kerusakan fisik seperti retak, lubang, maupun deformasi lokal.
- 5) Keseragaman, kondisi permukaan jalan harus seragam dan konsisten di sepanjang zona pengukuran untuk menghindari perubahan perilaku dinamis kendaraan secara mendadak.

5.6.3 Kesesuaian Pos Terhadap Akurasi WIM

Pemilihan pos penempatan sensor merupakan faktor determinan dalam menentukan kelas akurasi yang dapat dicapai oleh sebuah sistem WIM. Kondisi geometrik dan perkerasan jalan pada pos tertentu secara langsung berpengaruh pada kinerja sensor, sehingga klasifikasi pos (pos I, II, dan III) harus disesuaikan dengan target tingkat akurasi yang ingin dicapai.

a. Kesesuaian antara klasifikasi pos dan tingkat akurasi diatur dalam tabel berikut:

Tabel 13 - Pemilihan pos WIM berdasarkan tingkat akurasi

Tingkat akurasi	Pos I (Sangat baik)	Pos II (Baik)	Pos III (Cukup)
A(5)	+	-	-
B+(7)	+	-	-
B(10)	+	+	-
C(15)	(+)	+	+
D+(20)	(+)	(+)	+
D(25)	(+)	(+)	+

Keterangan:

- Tidak memadai -
- Memadai +
- Memadai tapi tidak perlu (+)

b. Analisis teknis pemilihan lokasi:

- 1) Sensitivitas sensor: hubungan antara kelas akurasi dan lokasi bersifat fleksibel tergantung pada jenis teknologi sensor yang digunakan. Sensor dengan alas besar (*large-footprint*) cenderung kurang sensitif terhadap kerataan permukaan jalan dibandingkan dengan sensor alas sempit karena mampu merata-ratakan tekanan pada area yang lebih luas.

- 2) Sistem multi-sensor: penggunaan konfigurasi multi-sensor yang didukung oleh algoritma pemrosesan data yang tepat dapat mengompensasi efek beban dinamis pada permukaan jalan dengan kualitas yang lebih rendah.
- 3) Optimasi lokasi: penggunaan lokasi berkualitas tinggi (Lokasi I) untuk tingkat akurasi rendah (seperti kelas D) dianggap memadai namun secara teknis tidak diperlukan atau berlebihan (*over-qualified*).

5.6.4 Verifikasi Lapangan

Penetapan akhir lokasi dan pos harus melalui verifikasi lapangan untuk memastikan kesesuaian antara kriteria teknis dan kondisi aktual. Penyesuaian dapat dilakukan sepanjang tetap memenuhi prinsip dan batasan teknis yang ditetapkan.

6 Tahapan dan Prosedur

6.1 Tahapan

Tahapan ini merupakan rangkaian alur kerja secara garis besar yang harus diikuti secara berurutan untuk menghasilkan rekomendasi lokasi penempatan sistem WIM yang akurat. Setiap tahapan harus diselesaikan sebelum melangkah ke tahap berikutnya:

Tahap I: Melakukan persiapan dan koordinasi pemangku kepentingan, meliputi:

- a. Menghimpun data sekunder dari berbagai pemangku kepentingan sebagai basis analisis penentuan koridor dan lokasi pos WIM.
- b. Melakukan koordinasi dengan pemangku kepentingan terkait (Direktorat Jenderal Bina Marga, Direktorat Jenderal Perhubungan Darat, Pemerintah Daerah, vendor/aplikator) untuk sinkronisasi sistem dan integrasi data.
- c. Mengidentifikasi regulasi dan kebijakan terkini mengenai pengawasan angkutan jalan
- d. Memetakan lokasi jembatan timbang eksisting dan sistem WIM yang telah terpasang

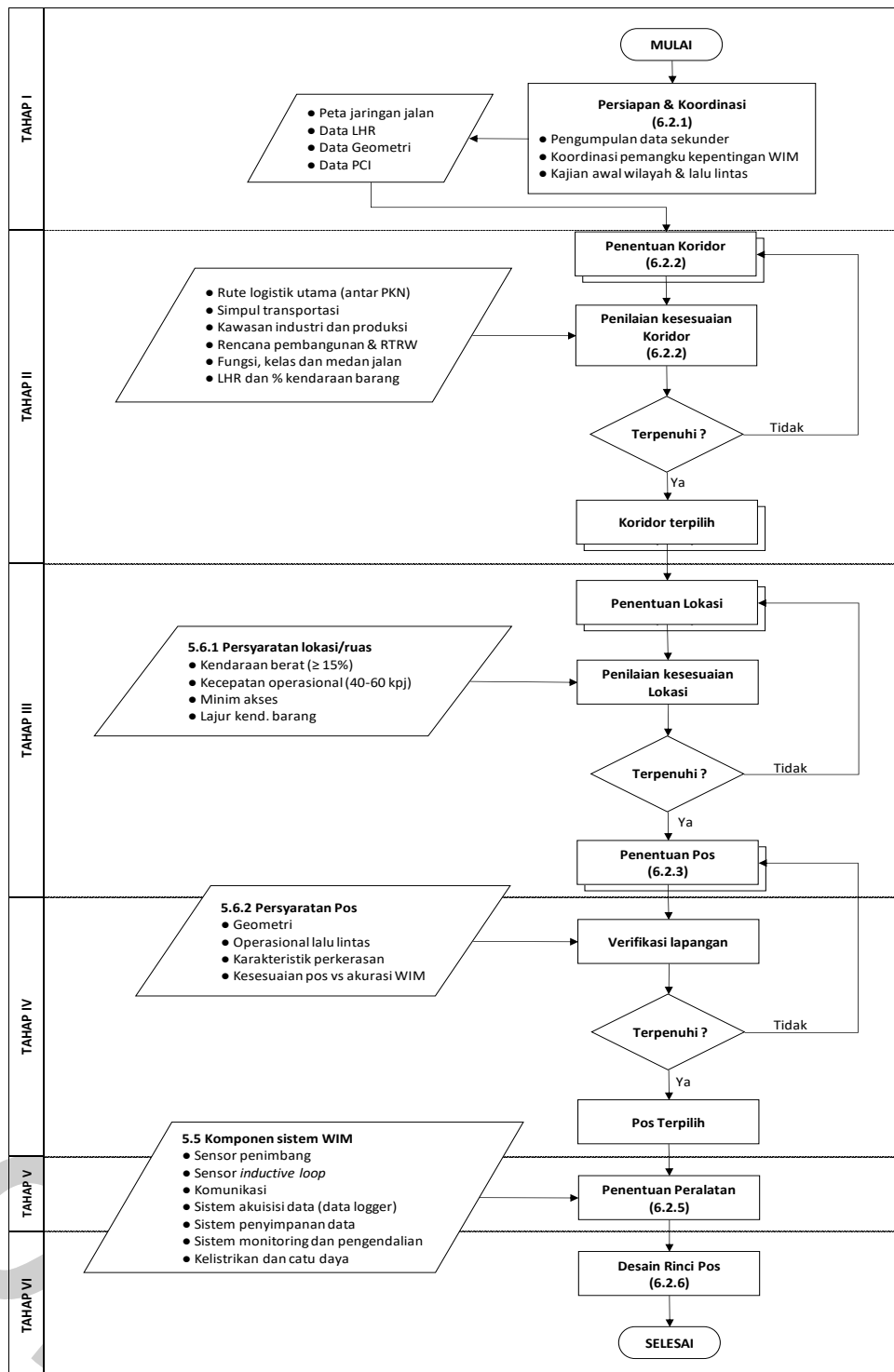
Tahap II : Menetapkan koridor strategis (menentukan ruas jalan utama berdasarkan pergerakan logistik nasional).

Tahap III : Menyeleksi alternatif ruas dan pos (menentukan kandidat lokasi secara digital dan administratif).

Tahap IV : Melaksanakan survei pendahuluan lapangan (memvalidasi kondisi nyata fisik jalan dan ketersediaan lahan).

Tahap V : Menyusun dokumen rekomendasi lokasi.

Tahap VI : Menyeleksi teknologi sensor (membandingkan dan menetapkan antara penggunaan suatu sensor dengan sensor lainnya berdasarkan kondisi teknis jalan)



Gambar 15 - Tahapan penentuan pos WIM

6.2 Prosedur

6.2.1 Persiapan dan Koordinasi

Kegiatan persiapan dan koordinasi dilakukan sebagai dasar dalam pelaksanaan identifikasi koridor, penentuan lokasi pos, dan penyusunan rencana survei lapangan agar proses perencanaan dapat dilaksanakan secara sistematis, efektif, dan sesuai dengan kebutuhan program pengumpulan data.

Kegiatan ini meliputi:

a. Pengumpulan data sekunder dan koordinasi pemangku kepentingan WIM

Lakukan pengumpulan data sekunder sebagai dasar analisis awal penentuan koridor dan lokasi pos WIM. Data yang dikumpulkan digunakan untuk memahami karakteristik jaringan jalan, kondisi lalu lintas, pola distribusi angkutan barang, serta keterkaitan dengan sistem atau program pengumpulan data yang telah ada.

Laksanakan koordinasi dengan instansi terkait, antara lain unit penyelenggara jalan, instansi perhubungan, pemerintah daerah, kepolisian, badan usaha jalan tol, serta instansi lain yang memiliki data, program, atau sistem WIM pada wilayah yang ditinjau, koordinasi dilakukan untuk:

- 1) Memperoleh data dan informasi pendukung;
- 2) Mengidentifikasi rencana dan program yang berkaitan dengan pengumpulan data beban kendaraan;
- 3) Memastikan keterpaduan lokasi dan sistem yang telah ada;
- 4) Menghindari duplikasi lokasi pengumpulan data; dan
- 5) Mendukung kelancaran pelaksanaan survei dan operasional sistem.

Data sekunder yang dikumpulkan, kegunaan data, serta sumber data diuraikan dalam Tabel 14

Tabel 14 - Kebutuhan minimum data sekunder

No	Kebutuhan Data	Kegunaan	Sumber
1	Peta jaringan jalan	Untuk memetakan kondisi jaringan jalan di wilayah dan menentukan jumlah dan lokasi pengumpulan data	Direktorat Jenderal Bina Marga
2	Lalu lintas harian rata-rata tahunan	Digunakan dalam pertimbangan seleksi lokasi berdasarkan volume lalu lintas yang memberikan beban lalu lintas paling tinggi	Direktorat Jenderal Bina Marga Direktorat Jenderal Perhubungan Darat
3	Geometrik	Berupa geometrik (lebar lajur, keberadaan dan dimensi bahu, kemiringan, melintang, kelandaian, tikungan, dan tipe jalan), digunakan dalam pertimbangan seleksi lokasi berdasarkan kesesuaian dengan persyaratan operasional sistem WIM	Direktorat Jenderal Bina Marga
4	Jenis dan kondisi perkerasan jalan	Digunakan dalam pertimbangan seleksi lokasi berdasarkan kesesuaian dengan persyaratan operasional sistem WIM.	Direktorat Jenderal Bina Marga
5	Guna lahan dan lingkungan tepi jalan	Digunakan dalam pertimbangan seleksi lokasi berdasarkan potensi dan pola pergerakan kendaraan pengangkut barang.	Pemerintah Daerah

No	Kebutuhan Data	Kegunaan	Sumber
6	Manajemen lalu lintas	Digunakan dalam pertimbangan seleksi lokasi berdasarkan ada tidaknya pemberlakuan manajemen lalu lintas baik dalam waktu tertentu ataupun menerus yang dapat mempengaruhi pergerakan angkutan barang	Direktorat Jenderal Perhubungan Darat
7	Lokasi Unit Pelaksana Penimbangan Kendaraan Bermotor (UPPKB)	Digunakan sebagai pertimbangan untuk memperkuat penetapan lokasi tertentu karena didukung oleh data jembatan timbang berupa komposisi dan berat kendaraan	Direktorat Jenderal Perhubungan Darat
8	Jenis teknologi sistem WIM	Digunakan dalam penyusunan kriteria/persyaratan teknis pemilihan dan penerapan sistem WIM	Vendor dan/atau aplikator

b. Kajian awal karakteristik wilayah dan lalu lintas

Laksanakan kajian awal terhadap karakteristik wilayah dan lalu lintas sebagai dasar dalam penentuan koridor dan lokasi pos WIM. Kajian ini bertujuan untuk memperoleh gambaran awal mengenai pola pergerakan kendaraan angkutan barang, karakteristik jaringan jalan, serta potensi koridor logistik pada wilayah yang ditinjau, kajian dilakukan dengan:

- 1) Mengidentifikasi karakteristik guna lahan dan aktivitas ekonomi pada wilayah yang ditinjau;
- 2) Menganalisis pola pergerakan angkutan barang pada jaringan jalan utama;
- 3) Mengumpulkan dan mengevaluasi kondisi lalu lintas eksisting, meliputi volume lalu lintas, komposisi kendaraan berat, dan stabilitas arus lalu lintas; dan
- 4) Mengidentifikasi koridor distribusi logistik yang berpotensi menjadi lokasi pengumpulan data.

Hasil kajian digunakan sebagai dasar dalam penentuan ruas jalan prioritas, identifikasi kandidat lokasi pos WIM, serta penyusunan rencana survei lapangan pada tahap selanjutnya.

6.2.2 Analisis dan Penentuan Koridor Survei WIM

Kegiatan analisis dan penentuan koridor survei WIM dilakukan untuk menetapkan jaringan jalan yang berpotensi menjadi lokasi pos WIM berdasarkan karakteristik pergerakan angkutan barang, fungsi jaringan jalan, dan keterkaitan terhadap sistem distribusi logistik. Tahapan ini bertujuan untuk memperoleh koridor prioritas yang representatif terhadap pola lalu lintas kendaraan berat pada wilayah yang ditinjau.

a. Penentuan koridor survei WIM

Lakukan identifikasi dan penentuan koridor survei WIM berdasarkan fungsi strategis jaringan jalan dalam mendukung sistem transportasi barang dan distribusi logistik.

Koridor survei WIM dalam jaringan jalan adalah kandidat yang dipilih untuk mewakili pergerakan kendaraan angkutan barang pada suatu wilayah pelayanan serta memiliki potensi sebagai lokasi pengumpulan data beban kendaraan.

b. Kriteria penentuan koridor

Lakukan analisis koridor dengan mempertimbangkan keterkaitan wilayah, pola distribusi logistik, dan pusat kegiatan ekonomi. Penentuan koridor harus mempertimbangkan:

1) Rute logistik utama

Identifikasi ruas jalan yang menjadi bagian dari pergerakan angkutan barang antar pusat kegiatan, termasuk Pusat Kegiatan Nasional (PKN), Pusat Kegiatan Wilayah (PKW), dan Pusat Kegiatan Lokal (PKL).

2) Simpul transportasi

Identifikasi keterhubungan koridor dengan simpul transportasi, meliputi pelabuhan, terminal, bandar udara, stasiun barang, dan fasilitas logistik lainnya yang berfungsi sebagai titik bangkitan dan tarikan pergerakan barang.

3) Kawasan industri dan produksi

Identifikasi kawasan industri, pergudangan, pertambangan, kehutanan, perkebunan, pertanian, dan kawasan produksi lainnya yang berpotensi menghasilkan pergerakan kendaraan angkutan barang dengan intensitas tinggi.

4) RTRW dan rencana pembangunan wilayah

Lakukan penelaahan terhadap rencana tata ruang wilayah dan rencana pengembangan infrastruktur sebagai dasar dalam memperkirakan pertumbuhan distribusi logistik dan perkembangan lalu lintas angkutan barang pada masa mendatang.

c. Kriteria teknis koridor

Selain mempertimbangkan aspek spasial dan distribusi logistik, lakukan evaluasi terhadap kondisi teknis koridor untuk memastikan kesesuaian ruas jalan sebagai kandidat lokasi pos WIM. Evaluasi teknis koridor meliputi:

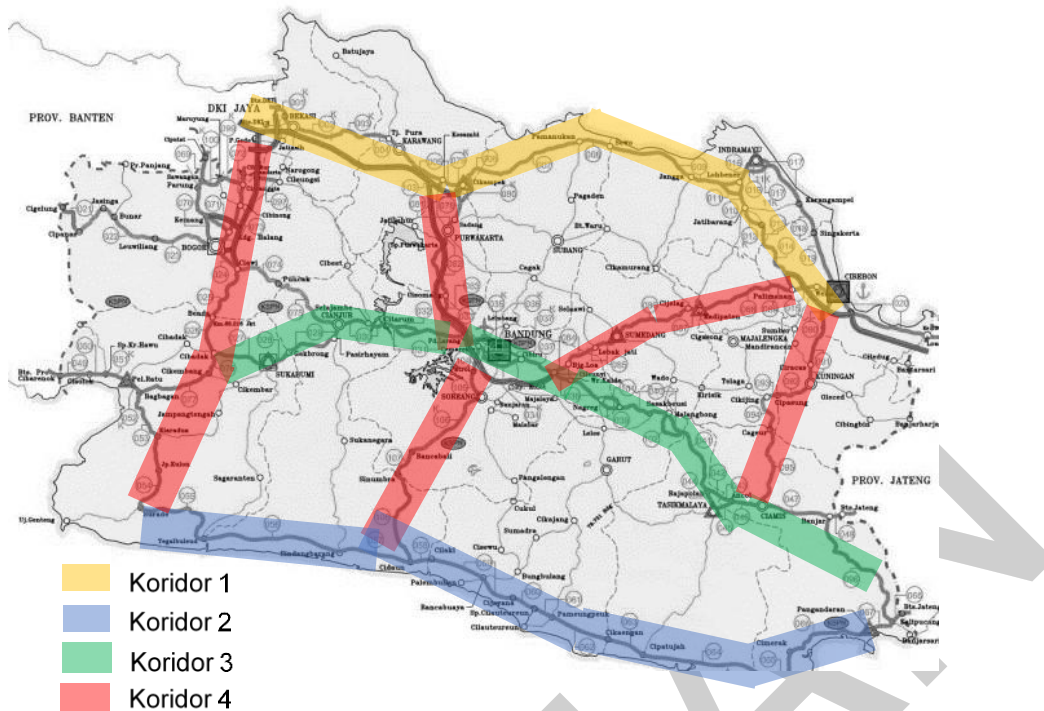
1) Fungsi dan kelas jalan;

2) Volume lalu lintas harian rata-rata (LHR) dan persentase kendaraan angkutan barang; dan

3) Kondisi geometrik jalan, meliputi topografi, jumlah lajur, lebar lajur, median, dan karakteristik alinemen jalan.

Contoh pembagian koridor diperlihatkan pada Gambar 16, yang terdiri atas:

- a. Koridor 1 fungsi jalan arteri primer (AP) dengan jenis jalan 4/2 (T) empat lajur dua arah terbagi dengan LHR diatas 20.000 kendaraan serta menghubungkan PKN (DKI Jakarta) dengan PKN lain seperti Cirebon dan Semarang;
- b. Koridor 2 fungsi jalan kolektor primer (KP) dengan jenis jalan 2/2 (TT) dua lajur dua arah tak terbagi dengan LHR kurang dari 10.000 kendaraan, menghubungkan pusat kegiatan wilayah (PKW) dengan PKN (Pelabuhan);
- c. Koridor 3 fungsi jalan arteri primer (AP) dengan jenis jalan 2/2 (TT) dua lajur dua arah tak terbagi dengan LHR kurang antara 14.000- 20.000 kendaraan, menghubungkan PKN (ibu kota Provinsi) dengan PKN (Prov Jateng); dan
- d. Koridor 4 jalan kolektor primer (KP) dengan jenis jalan 2/2 (TT) dua lajur dua arah tak terbagi dengan LHR kurang dari 10.000 kendaraan, menghubungkan PKW dengan PKN.



Gambar 16 - Contoh Koridor kolektor yang menghubungkan PKW dengan PKN

6.2.3 Penentuan Ruas Kandidat Dan Lokasi Pos WIM

Kegiatan penentuan ruas kandidat dan lokasi pos WIM dilakukan untuk menetapkan ruas jalan dan segmen lokasi yang memenuhi persyaratan teknis, operasional, dan keselamatan sebagai lokasi pemasangan sistem *Weigh-In-Motion* (WIM). Penentuan dilakukan berdasarkan hasil analisis koridor, evaluasi teknis ruas jalan, serta kondisi lapangan yang mendukung kestabilan pengukuran beban kendaraan.

a. Penentuan ruas kandidat WIM

Lakukan identifikasi dan evaluasi terhadap ruas jalan pada koridor terpilih untuk menentukan ruas kandidat lokasi WIM. Setiap koridor dapat menghasilkan satu atau lebih ruas kandidat yang selanjutnya dievaluasi berdasarkan karakteristik teknis dan operasional jalan. Evaluasi ruas kandidat sekurang-kurangnya meliputi:

- 1) Panjang ruas;
- 2) Fungsi dan kelas jalan;
- 3) Jenis perkerasan; dan
- 4) Kondisi umum jalan.

Evaluasi dapat diperkuat dengan analisis spasial menggunakan citra satelit, peta jaringan jalan, atau sistem informasi geografis untuk mengidentifikasi karakteristik geometrik jalan dan lingkungan sekitar lokasi. Hasil evaluasi dituangkan dalam daftar *candidate link* yang dilengkapi dengan koordinat awal dan akhir ruas sebagai dasar pelaksanaan survei pendahuluan.

b. Penentuan lokasi pos WIM

Lakukan penentuan lokasi pos WIM pada ruas kandidat yang memenuhi persyaratan teknis pengukuran dan mendukung stabilitas operasional sistem.

Penentuan lokasi pos WIM dilakukan dengan mempertimbangkan kondisi lalu lintas dan geometrik jalan agar proses pengukuran kendaraan dapat berlangsung secara stabil dan representatif. Lokasi pos WIM diprioritaskan pada segmen jalan yang:

- 1) Meminimalkan gangguan lalu lintas, termasuk pengaruh simpang, akses langsung, dan aktivitas samping jalan;
- 2) Memiliki kondisi geometrik jalan yang lurus, datar, dan stabil; dan
- 3) Menyediakan ruang yang memadai untuk instalasi sensor, kabinet elektronik, perangkat komunikasi, dan fasilitas pendukung lainnya.

6.2.4 Survei Pendahuluan

Survei pendahuluan dilaksanakan untuk memverifikasi kesesuaian ruas kandidat dan lokasi pos WIM terhadap persyaratan teknis sistem sebagaimana diatur pada Bab 5. Survei dilakukan melalui pemeriksaan kondisi lapangan, evaluasi teknis lokasi, serta koordinasi dengan instansi terkait sebelum penetapan lokasi final.

a. Verifikasi ruas kandidat

Lakukan verifikasi terhadap ruas kandidat untuk memastikan kesesuaian dengan ketentuan teknis lokasi pengumpulan data. Proses verifikasi meliputi:

- 1) Pemeriksaan kesesuaian ruas terhadap persyaratan teknis sebagaimana dimaksud pada Bab 5; dan
- 2) Evaluasi ulang terhadap ruas alternatif dalam koridor yang sama apabila ruas kandidat tidak memenuhi persyaratan teknis.

b. Verifikasi lokasi pos WIM

Lakukan evaluasi lokasi pos WIM berdasarkan kondisi operasional lalu lintas, geometrik jalan, dan kebutuhan instalasi sistem. Proses evaluasi sekurang-kurangnya meliputi:

- 1) Manajemen lalu lintas;
- 2) Stabilitas kecepatan dan karakteristik arus lalu lintas;
- 3) Kondisi geometrik jalan;
- 4) Kondisi perkerasan jalan;
- 5) Sistem drainase;
- 6) Ketersediaan ruang instalasi;
- 7) Ketersediaan sumber listrik dan jaringan komunikasi;
- 8) Area manuver truk kalibrasi; dan
- 9) Ketersediaan fasilitas penimbangan referensi atau timbangan portabel.

c. Koordinasi pemangku kepentingan

Laksanakan koordinasi dengan instansi terkait untuk memastikan lokasi kandidat tidak berada pada kondisi yang berpotensi mengganggu operasional sistem. Koordinasi dilakukan untuk memastikan lokasi:

- 1) Tidak berada pada area proyek pembangunan atau peningkatan jalan;
- 2) Tidak berada pada lokasi rawan kecelakaan (*black spot*);
- 3) Tidak berada pada zona rawan bencana;
- 4) Tidak berada pada kawasan dengan tingkat kriminalitas tinggi; dan
- 5) Tidak mengalami gangguan pasokan listrik secara berulang.

d. Pemeriksaan zona pendekatan sensor

Lakukan pemeriksaan pada area sebelum sensor (*approach zone*) dan setelah sensor (*departure zone*) untuk memastikan kendaraan dapat melintas secara stabil selama proses pengukuran. Pemeriksaan dilakukan untuk mengevaluasi:

- 1) Kestabilan pergerakan kendaraan;
- 2) Potensi perlambatan atau percepatan kendaraan; dan
- 3) Pengaruh geometrik jalan terhadap akurasi pengukuran sistem wim.

- e. Pemeriksaan kondisi perkerasan
Lakukan pemeriksaan kondisi perkerasan pada lokasi kandidat pemasangan sensor WIM. Pemeriksaan meliputi identifikasi:
- 1) Retak;
 - 2) Deformasi atau *rutting*;
 - 3) Lubang; dan
 - 4) Kerusakan struktural lainnya.
- Apabila kondisi perkerasan tidak memenuhi persyaratan teknis, maka dilakukan:
- 1) Perbaikan perkerasan; atau
 - 2) Relokasi lokasi pemasangan sensor.
- f. Dokumentasi survei
Seluruh hasil survei pendahuluan wajib didokumentasikan secara lengkap sebagai bagian dari proses verifikasi lokasi.
Dokumentasi sekurang-kurangnya meliputi:
- 1) Hasil pemeriksaan lapangan;
 - 2) Dokumentasi foto lokasi;
 - 3) Hasil evaluasi teknis; dan
 - 4) Rekomendasi kelayakan lokasi.
- Seluruh hasil survei dimasukkan ke dalam laporan survei pendahuluan dan disusun menggunakan formulir sebagaimana tercantum dalam Lampiran A.

6.2.5 Penentuan Peralatan WIM

Lakukan penentuan teknologi WIM berdasarkan kebutuhan pengumpulan data, tingkat akurasi, dan kondisi lokasi pemasangan. Penentuan teknologi dilakukan dengan mempertimbangkan:

- a. Tipe sistem WIM sebagaimana dimaksud pada 5.4;
- b. Jenis dan keluaran data yang dibutuhkan; dan
- c. Tingkat akurasi sistem sesuai ketentuan teknis (Tabel 7).

Selain itu, pertimbangkan:

- a. Kemampuan sistem;
- b. Biaya siklus hidup sistem (Tabel 8);
- c. Tingkat akurasi pengukuran; dan
- d. Kondisi perkerasan jalan pada lokasi pemasangan (Tabel 9).

6.2.6 Desain Rinci Pos WIM

Desain rinci pos WIM dilakukan sebagai tahap finalisasi teknis sebelum pelaksanaan instalasi sistem. Tahap ini bertujuan untuk memastikan seluruh kebutuhan operasional, keselamatan, utilitas, dan infrastruktur pendukung telah tersedia dan memenuhi persyaratan teknis.

- a. Keselamatan dan keamanan
Pastikan kabinet dan perangkat pendukung ditempatkan di luar ruang bebas jalan.
Apabila kondisi lokasi tidak memungkinkan, lakukan pemasangan pagar pengaman atau fasilitas perlindungan lainnya untuk menjamin keselamatan peralatan dan pengguna jalan.
- b. Sistem kelistrikan
Rancang sistem kelistrikan untuk mendukung operasional sistem secara berkelanjutan.
Penyediaan sumber daya listrik dilakukan dengan ketentuan:
 - 1) Sumber listrik utama diprioritaskan berasal dari jaringan PLN;

- 2) Sumber alternatif dapat menggunakan panel surya atau *hybrid system*; dan
 - 3) Sistem wajib dilengkapi dengan UPS atau *backup battery system*.
- c. Data lalu lintas
- Laksanakan survei lalu lintas sebagai bagian dari verifikasi operasional lokasi. Survei dilakukan dengan ketentuan:
- 1) Durasi survei minimum 48 jam; dan
 - 2) Survei 7 × 24 jam dilakukan untuk lokasi dengan karakteristik khusus, seperti kawasan wisata, perdagangan, atau koridor logistik utama.
- d. Sistem komunikasi
- Lakukan verifikasi ketersediaan dan kualitas jaringan komunikasi pada lokasi pos WIM. Proses verifikasi meliputi:
- 1) Pemeriksaan jarak jaringan telepon kabel terhadap titik terdekat;
 - 2) Pengujian kualitas sinyal komunikasi seluler; dan
 - 3) Pemasangan repeater atau relokasi perangkat apabila kualitas sinyal tidak memenuhi kebutuhan operasional.
- e. Infrastruktur sisi jalan
- Pastikan infrastruktur pendukung sisi jalan memenuhi kebutuhan instalasi dan pemeliharaan sistem. Ketentuan infrastruktur sisi jalan meliputi:
- 1) Kabinet dan *pull box* ditempatkan maksimal 50 m dari sensor; dan
 - 2) Seluruh perangkat tidak ditempatkan pada area yang berpotensi tergenang air.
- f. Manuver truk kalibrasi
- Pastikan lokasi pos WIM mendukung akses dan manuver kendaraan kalibrasi. Ketentuan mengenai lokasi pos WIM dalam mendukung akses dan manuver kendaraan kalibrasi meliputi:
- 1) Radius akses kendaraan kalibrasi maksimum 2 km dari lokasi pos WIM; dan
 - 2) Apabila akses tidak tersedia, dilakukan rekayasa lalu lintas sementara atau pemasangan rambu sementara untuk mendukung kegiatan kalibrasi dan pemeliharaan sistem.

Daftar Penyusun dan Unit Kerja Pemrakarsa

No.	Nama		Unit Kerja
1.	Balai Sistem Jaringan dan Lingkungan Jalan, Direktorat Bina Teknik Jalan dan Jembatan, Direktorat Jenderal Bina Marga, Kementerian Pekerjaan Umum		
2.	Koordinator	Wahyu S Winurseto	Kepala Balai Sistem Jaringan dan Lingkungan Jalan
3.	Penyusun	Untung Cahyadi, S.ST., M.T.	Balai Sistem Jaringan dan Lingkungan Jalan
4.		Redi Aditya, S.T., M.T.	Balai Sistem Jaringan dan Lingkungan Jalan
5.		Rustijan, S.T., M.T.	Balai Sistem Jaringan dan Lingkungan Jalan
6.	Editor Naskah	Subdirektorat Teknologi dan Peralatan Infrastruktur Bina Marga, Direktorat Bina Teknik Jalan dan Jembatan	

LAMPIRAN A

(Informatif)

Formulir Skrining Awal, Survei Pendahuluan, Verifikasi Fisik dan Inspeksi Visual, Lembar Evaluasi Teknik Matriks Justifikasi Teknologi

Nomor Dokumen: WIM-SVY-2026

Instansi:

Tahap 1: Formulir Skrining Awal (*Desk Study*)

Tahap ini dilakukan menggunakan metode *desk study* melalui analisis peta citra satelit berbasis web (misalnya *Open Street map*, *Google Earth Pro*, *Google Street View*, dll) dan data sekunder instansional sebelum tim ke lapangan.

Jika pada Tahap 1 lokasi kandidat mendapatkan status "ditolak", maka proses dihentikan dan surveyor wajib mengevaluasi ruas alternatif dalam koridor yang sama.

1.1 Informasi Target Survei

Nama / Kode Ruas Jalan: _____
Provinsi / Kabupaten: _____
Rencana Titik Koordinat (peta citra satelit): *Lat*: _____ *Long*: _____
Rencana Km / *Stasioning* (Sta): KM / Sta. _____
Tanggal Analisis Meja: _____ Nama Analis: _____

1.2 Matriks Verifikasi Citra dan Data Sekunder

No	Parameter Analisis	Metode/ Sumber Data	Kriteria Kelayakan	Kondisi Aktual Citra/Data	Status
1	Kelurusan Horizontal (<i>Alignment</i>)	Peta citra satelit: Ukur garis lurus pada rencana lokasi.	Tangen jalan harus (lurus) minimal 50 m sebelum dan 25 m setelah rencana titik sensor.	Jarak lurus aktual: • Sebelum: _____ m • Setelah: _____ m	[] Lolos [] Tolak
2	Hambatan Samping & Aliran Bebas	Peta citra satelit: Amati objek radius 500 m.	Lokasi aman dari persimpangan sebidang, <i>U-Turn</i> , gerbang tol, pasar, atau akses pabrik untuk menghindari kondisi lalu lintas <i>stop-and-go</i> .	Jarak ke hambatan terdekat: • Objek: _____ • Jarak: _____ m	[] Lolos [] Tolak

No	Parameter Analisis	Metode/ Sumber Data	Kriteria Kelayakan	Kondisi Aktual Citra/Data	Status
3	Konstruksi & Pemeliharaan Jalan	Konfirmasi ke Balai Besar Pelaksana Jalan dan/atau Satker/PPK Jalan setempat untuk jalan non-tol dan BUJT untuk jalan tol.	Lokasi tidak masuk dalam daftar proyek rekonstruksi, pelebaran, atau pembongkaran jalan dalam rentang 3-5 tahun ke depan.	☐ Bebas Proyek ☐ Ada Proyek Terjadwal: _____	☐ Lolos ☐ Tolak
4	Kerawanan Bencana & Kecelakaan	Sinkronisasi koordinat dengan data BPBD & Satlantas.	Lokasi berada di luar zona merah rawan longsor, banjir tahunan, amblesan, dan bukan area <i>Black Spot</i> kecelakaan.	Catatan Risiko:	☐ Lolos ☐ Tolak

Kesimpulan tahap 1 (desk study):

- ☐ **Lolos** : Lanjutkan ke Tahap 2 (Survei Lapangan).
☐ **Ditolak** : Evaluasi koordinat/ruas alternatif pada KM: _____ karena tidak memenuhi parameter No: _____

Tahap 2: Formulir Verifikasi Fisik dan Inspeksi Visual (*Field Survey*)

Petunjuk Pelaksanaan: Formulir ini diisi langsung di lapangan oleh surveyor melalui pengamatan visual, wawancara singkat di lokasi, dan pengukuran geometrik eksternal makro.

Hari / Tanggal Lapangan: _____

Waktu Inspeksi: _____ WIB

Titik Koordinat Aktual (GPS *Handheld*): Lat: _____ Long: _____

2.1 Matriks Verifikasi Kondisi Lapangan

No	Parameter pemeriksaan lapangan	Metode pelaksanaan	Batas toleransi/ syarat	Kondisi riil lapangan & catatan	Status
1	Ketersediaan Ruang Sisi Jalan	Pengamatan visual dan pengukuran pita ukur.	Tersedia ruang bebas di bahu jalan (minimal 3 m dari tepi perkerasan) untuk penempatan Kabinet WIM & Tiang Kamera tanpa mengganggu ruang bebas jalan.	Lebar ruang bahu jalan aktual: _____ m	☐ OK ☐ NO
2	Sistem Drainase Samping	Inspeksi visual saluran samping jalan pada radius 50 m.	Saluran drainase lancar, elevasi kabinet dipastikan lebih tinggi dari elevasi banjir lokal. Bebas risiko rendaman air pada <i>pull box</i> .	Kondisi Drainase: ☐ Berfungsi Baik ☐ Saluran Mati/ Sedimen ☐ Potensi Genangan	☐ OK ☐ NO
3	Catu Daya (Kelistrikan)	Identifikasi visual tiang listrik terdekat dan wawancara.	Diutamakan terdapat jaringan telepon kabel/tiang listrik PLN dalam radius maksimum 100 m dari rencana kabinet.	Jarak ke jaringan PLN: _____ meter Potensi Solusi Alternatif: ☐ Solar Panel ☐ <i>Hybrid</i>	☐ OK ☐ NO
4	Jaringan Komunikasi	Cek indikator sinyal seluler (<i>Speedtest</i>) menggunakan operator utama.	Kualitas sinyal minimum 4G/5G dengan kekuatan sinyal stabil untuk pengiriman data tangkapan (<i>log</i>) WIM secara <i>real-time</i> .	<i>Provider</i> Utama: _____ Kekuatan: ☐ Kuat ☐ Lemah Perlu Tambahan Alat: ☐ Ya, Antena/Repeater ☐ Tidak	☐ OK ☐ NO

No	Parameter pemeriksaan lapangan	Metode pelaksanaan	Batas toleransi/ syarat	Kondisi riil lapangan & catatan	Status
5	Akses Kalibrasi & Manuver	Analisis geometrik radius memutar jalan.	Tersedia area atau bukaan median (<i>U-Turn</i>) yang aman untuk manuver Truk Kalibrasi (3-Sumbu/Lebih) dalam radius maksimal 2 km dari pos WIM.	Jarak akses memutar: _____ km dari lokasi pos WIM.	☐ OK ☐ NO

2.2 Visual Distress Survei (Kondisi Kerusakan Perkerasan)

Petunjuk Pelaksanaan: Lakukan berjalan kaki sepanjang 75 m (50 m arah pendekatan, 25 m arah pelepasan) pada lajur rencana. Tandai jika ditemukan kerusakan.

Jenis Kerusakan	Lokasi / Jarak dari Titik Sensor	Tingkat Kerusakan (Rendah/Sedang/Tinggi)	Estimasi Luas/ Kedalaman
Retak (<i>Cracking</i>)	☐ <i>Approach</i> ☐ Titik Sensor ☐ <i>Departure</i>	☐ Rendah ☐ Sedang ☐ Tinggi	Luas: _____ m ²
Alur Roda (<i>Rutting</i>)	☐ <i>Approach</i> ☐ Titik Sensor ☐ <i>Departure</i>	☐ Rendah ☐ Sedang ☐ Tinggi	Kedalaman alur: _____ mm
Lubang (<i>Potholes</i>)	☐ <i>Approach</i> ☐ Titik Sensor ☐ <i>Departure</i>	☐ Rendah ☐ Sedang ☐ Tinggi	Jumlah lubang: _____ Titik
Kerusakan Struktur Lain	☐ <i>Approach</i> ☐ Titik Sensor ☐ <i>Departure</i>	☐ Rendah ☐ Sedang ☐ Tinggi	Deskripsi: _____

Rekomendasi awal perkerasan jalan:

- ☐ Kondisi Mantap: Perkerasan siap pakai tanpa rekonstruksi prasarana.
- ☐ Perlu Perbaikan Minor: Diperlukan penutupan retak (*sealing*) atau penambalan lubang sebelum pemotongan sensor.
- ☐ Perlu Perbaikan Mayor/Relokasi: Lapisan aspal/beton mengalami deformatif tinggi. Diwajibkan perbaikan struktur berupa *overlay* sepanjang 75 m atau menggeser lokasi penempatan sensor ke STA: _____

Tahap 3: Lembar Hasil Evaluasi Teknis Dedikatif (Pengujian Instrumen)

Petunjuk Pelaksanaan: Dokumen ini diisi oleh tim penguji teknis/lab jalan berdasarkan angka kuantitatif hasil pengujian instrumen presisi di lapangan. Bagian ini menjadi lampiran legalitas penentuan akurasi sistem WIM.

3.1 Pengujian Geometrik Mikro (Alat: *Total Station/Auto Level*)

Kelandaian memanjang (*Longitudinal Slope*):

Segmen Pendekatan (-50 m s.d 0 m): _____ % (*Standar: Maks. _____ %*)

Titik Penempatan Sensor (0 m): _____ % (*Standar: Maks. _____ %*)

Segmen Pelepasan (0 m s.d +25 m): _____ % (*Standar: Maks. _____ %*)

Kelandaian Melintang (*Cross Slope*): _____ % (*Standar: Maks. 2% untuk drainase permukaan*)

3.2 Pengujian Kerataan Perkerasan (*Roughness Test*)

Metode pengujian:

☐ Laser *Profiler* / ☐ *Roughometer* / ☐ Mistar lurus 3 Meter (*Straightedge*)

Interval Jarak Jaringan	Nilai IRI Aktual (m/km)	Hasil Mistar 3 Meter (Celah Vertikal Maksimum dalam mm)
-50 meter s.d -30 meter		<i>Tidak Wajib</i>
-30 meter s.d -10 meter		
-10 meter s.d 0 meter (Zona Inti Sensor)		
0 meter s.d +10 meter		
+10 meter s.d +25 meter		<i>Tidak Wajib</i>

3.3 Pengujian Daya Dukung Perkerasan

(Alat: *Falling weight deflectometer - FWD*)

Nilai Lendutan Balik Aktual (μ m): _____

Sisa Umur Rencana Perkerasan Struktur: _____ Tahun.

Kesimpulan Struktur:

☐ Mampu menahan beban dinamis WIM terus-menerus

☐ Perlu perkuatan struktur bawah perkerasan.

3.4 Profil Arus Lalu Lintas Verifikasi

(Durasi Survei: Minimum 48 Jam / Khusus 7x24 Jam)

Volume Kendaraan Logistik (Gol. IV & V): _____ Kendaraan / Hari.

Karakteristik Kecepatan Truk (*V-85 Percentile*): _____ km/jam.

Perilaku Aliran Kendaraan:

☐ Bebas hambatan (*Free-flow*)

☐ Terinterupsi (Sering rem/akselerasi).

TAHAP 4: Matriks Justifikasi Teknologi dan Keputusan Final

Petunjuk Pelaksanaan: Bagian akhir ini diisi melalui rapat pleno tim ahli rekayasa jalan, pabrikan sistem, dan pemilik proyek di kantor berdasarkan kompilasi data dari Tahap 1, 2, dan 3.

4.1 Pembobotan Pemilihan Sensor WIM

Parameter Kondisi Aktual Lokasi	Kecocokan Jenis Sensor	Catatan Batasan Teknis Rekayasa
• Nilai IRI Rata-rata: _____ m/km • Struktur: [] Aspal [] Beton • Kecepatan Rata-rata: _____ km/jam	[] Piezo-Quartz (Syarat IRI tinggi & perkerasan mantap) [] Bending Plate (Syarat perkerasan beton & volume lalin padat) [] Strain Gauge/Line (Keperluan penapisan/<i>screening</i>)	

4.2 Lembar Pengesahan Kelayakan Lokasi

Rekomendasi Final Kelayakan Lokasi Pos:

- [] **Direkomendasikan (Kategori A):** Lokasi memenuhi seluruh kriteria Tanpa catatan perbaikan struktur jalan. Desain rinci (DED) dapat langsung Dieksekusi.
- [] **Direkomendasikan Dengan Perbaikan (Kategori B):** Lokasi layak Namun pemasangan sensor HANYA boleh dilakukan SETELAH pekerjaan Rekayasa berikut selesai:

Catatan Perbaikan: _____

- [] **Tidak Direkomendasikan (Kategori C):** Lokasi ditolak secara total berdasarkan hasil evaluasi instrumen. Wajib melakukan relokasi total pos WIM.

Tim Penyusun Laporan & Tim Ahli Verifikasi:

Nama Tim Ahli	Jabatan/Keahlian	Tanda Tangan	Tanggal
1. _____	Ahli Geometrik & Perkerasan		_____
2. _____	Ahli Sistem ITS / WIM		_____
3. _____	Penanggung Jawab Lapangan		_____

Petunjuk Umum Pengisian dan Pelaksanaan (*Manual Code*)

1. Prinsip Sekuensial Berjenjang: Survei tidak boleh melompat ke lapangan sebelum dokumen Tahap 1 (*Desk Study*) ditandatangani dan dinyatakan lolos.

2. Kondisi Cuaca Saat Pengujian Lapangan: Seluruh rangkaian pengujian instrumen pada Tahap 3 (Mistar 3m, Pengukuran IRI, Geometrik) wajib dilaksanakan pada kondisi perkerasan kering. Pengujian pada kondisi hujan atau jalan basah berpotensi merusak akurasi alat ukur optik dan mengubah koefisien kerataan jalan.
3. Kalibrasi Alat: Alat ukur *Total Station*, *Roughometer*, dan FWD yang digunakan pada Tahap 3 wajib melampirkan sertifikat kalibrasi yang masih berlaku (maksimal 1 tahun sejak tanggal sertifikat dikeluarkan) pada lampiran laporan akhir.

Penyusunan Laporan Akhir: Bundel formulir yang telah terisi lengkap ini wajib dijilid menjadi satu kesatuan dokumen bernama "Laporan Survei Pendahuluan dan Verifikasi Lapangan Pos WIM Ruas [Nama Ruas]"

LAMPIRAN B (Informatif)

