

SE Menteri PUPR

Nomor : 14/SE/M/2019

Tanggal : 11 September 2019

# PEDOMAN

Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil

---

Pengukuran beban kendaraan dengan *weigh-in-motion (WIM) bridge*



**KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM  
DAN PERUMAHAN RAKYAT**

## Daftar isi

Daftar isi .....	i
Prakata .....	ii
Pendahuluan .....	iii
1 Ruang lingkup .....	1
2 Acuan normatif .....	1
3 Istilah dan definisi .....	1
4 Ketentuan .....	3
5 Prosedur .....	15
Lampiran A (informatif) Penyesuaian pengelompokan jenis kendaraan .....	26
Lampiran B (informatif) Contoh data luaran hasil pengukuran beban kendaraan dengan WIM <i>bridge</i> .....	29
Lampiran C (informatif) Jenis sensor penimbangan beban kendaraan metode dinamis .....	31
Bibliografi .....	33
Daftar nama dan lembaga .....	34
Tabel 1 - Kriteria pemilihan bentang jembatan terhadap kecepatan lalu lintas .....	9
Tabel 2 - Kriteria pemilihan jembatan .....	9
Tabel 3 - Toleransi pengukuran untuk setiap kelas akurasi (dalam %) .....	13
Tabel 4 - Format data luaran .....	14
Gambar 1 - Skema sistem WIM <i>bridge</i> .....	4
Gambar 2 - Gambar tipikal transduser regangan .....	6
Gambar 3 - Gambar tipikal kolektor sinyal transduser regangan .....	6
Gambar 4 - Proses pembuatan dudukan baja untuk pemasangan transduser regangan pada elemen struktur baja .....	7
Gambar 5 - Kabinet unit pengolah data .....	7
Gambar 6 - Unit komunikasi data eksternal .....	8
Gambar 7 - Tata letak tipikal jembatan tipe gelagar: dua lajur (tampak bawah) .....	11
Gambar 8 - Tata letak tipikal jembatan tipe pelat/ <i>box culvert</i> : dua lajur (tampak bawah) .....	12
Gambar 9 - Pengukuran panjang bentang jembatan .....	16
Gambar 10 - Pengukuran tinggi ruang bebas jembatan .....	17
Gambar 11 - Pengukuran lebar jembatan .....	17
Gambar 12 - Pengukuran sudut kemiringan jembatan / <i>skew</i> .....	17
Gambar 13 - Pembuatan lubang untuk dudukan transduser regangan .....	19
Gambar 14 - Pemasangan angkur baja .....	19
Gambar 15 - Pengencangan baut pada transduser regangan .....	20
Gambar 16 - Pemasangan kolektor sinyal dan transduser regangan .....	21
Gambar 17 - Sensor Temperatur .....	21
Gambar 18 - Pemasangan unit pengolah data dan unit komunikasi data eksternal .....	22
Gambar 19 - Pemasangan Kamera .....	23

## Prakata

Pedoman ini menjelaskan tata cara pengukuran beban kendaraan dengan *weigh-in-motion* (WIM) *bridge*. Pengukuran beban kendaraan dapat dilakukan secara dinamis tanpa perlu memberhentikan kendaraan terlebih dahulu dengan sistem WIM *bridge*. Data yang dapat diperoleh dari pengukuran ini adalah berat total kendaraan, berat sumbu kendaraan, jenis kendaraan, kecepatan kendaraan, dan jarak antar-sumbu kendaraan. Penyusunan pedoman ini berdasarkan kegiatan penelitian dan pengembangan sistem WIM *bridge* yang dilakukan oleh Puslitbang Jalan dan Jembatan, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

Pedoman ini disusun oleh Komite Teknis 91-01 Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil pada Subkomite Teknis 91-01-S2 Rekayasa Jalan dan Jembatan melalui Gugus Kerja Balai Litbang Struktur Jembatan, Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

Pedoman ini telah ditetapkan dalam rapat penetapan pada tanggal 24 Juli 2018 di Jakarta yang dihadiri oleh anggota Komite Teknis yang merupakan wakil dari konsumen, pakar, produsen, pemerintah, serta anggota Sub Komite Teknis Jalan dan Jembatan (91-01/S2), Direktorat Jenderal Bina Marga serta para konseptor.

## Pendahuluan

Pembangunan infrastruktur di Indonesia saat ini sedang berkembang pesat, termasuk konstruksi jalan dan jembatan sebagai prasarana transportasi darat. Infrastruktur jalan dan jembatan memiliki peran penting dalam mobilitas, distribusi barang, penumpang, dan jasa. Infrastruktur jalan dan jembatan hingga saat ini masih memegang peranan penting sebagai prasarana transportasi darat di Indonesia, sehubungan dengan hampir 90% distribusi barang menggunakan moda jalan (Saleh et al. 2009). Oleh karena itu, infrastruktur jalan dan jembatan harus memiliki kinerja yang baik dan kerusakan yang kemungkinan dapat terjadi harus diminimalisasi. Beberapa penelitian menyebutkan faktor yang berpengaruh terhadap kerusakan infrastruktur jalan dan jembatan, antara lain adalah faktor teknis berupa kesalahan dalam perencanaan dan pelaksanaan, faktor kelebihan berat muatan kendaraan, faktor cuaca, serta faktor bencana alam (Akgül dan Frangopol 2004) (Saadeghvaziri dan Hadidi 2005). Untuk meminimalisasi faktor kesalahan penggunaan beban desain dalam perencanaan dan mengendalikan beban muatan kendaraan yang berlebih, diperlukan data beban kendaraan yang aktual.

Untuk menjawab kebutuhan tersebut, perkembangan di bidang teknologi pengukuran data beban kendaraan telah memungkinkan pengukuran beban secara aktual tanpa memberhentikan kendaraan yang melintas, yaitu teknologi *weigh-in-motion* (WIM). Dalam pedoman ini, secara spesifik akan dibahas lebih lanjut mengenai pengukuran beban kendaraan dengan WIM berbasis jembatan (*WIM bridge*) yang memanfaatkan jembatan sebagai instrumen pengukuran beban kendaraan bergerak. Instrumen sensor dipasang pada elemen jembatan yang digunakan untuk mengukur respons elemen tersebut terhadap beban lalu lintas yang dikonversi menjadi besaran beban lalu lintas itu kembali.

Pengukuran beban kendaraan dengan *WIM bridge* ini memiliki beberapa keunggulan jika dibandingkan dengan pengukuran beban kendaraan dengan metode WIM lainnya, antara lain sistem WIM yang dapat dipindah-pindahkan dan juga dapat dipasang permanen; tidak memerlukan pemotongan permukaan perkerasan untuk pemasangan sensor di atas permukaan jalan; tidak memerlukan penutupan jembatan selama pemasangan sensor karena sensor dipasang di bawah jembatan; pembacaan data hasil pengukuran beban kendaraan dapat langsung dilakukan di lapangan dan dapat dipantau secara daring melalui jaringan internet. Namun, ada beberapa keterbatasan dari sistem *WIM bridge* ini, antara lain tidak semua lokasi ruas jalan memiliki jembatan, khususnya yang memenuhi ketentuan teknis untuk *WIM bridge*; akurasi dipengaruhi kondisi struktur jembatan itu sendiri serta permukaan jalan di atas jembatan dan jalan pendekat, semakin baik kondisi jembatan dan jalan pendekat, semakin tinggi akurasi pengukuran beban kendaraan yang dihasilkan. Diharapkan dengan disusunnya pedoman ini, penyelenggara jalan dan pemangku kepentingan di bidang jalan dan jembatan dapat melaksanakan pengukuran beban kendaraan dengan *WIM bridge* untuk meningkatkan kinerja pengelolaan infrastruktur jalan dan jembatan di Indonesia.

## Pengukuran beban kendaraan dengan *weigh-in-motion (WIM) bridge*

### 1 Ruang lingkup

Pedoman ini menetapkan ketentuan pengukuran dengan *WIM bridge* yang terdiri dari prinsip kerja sistem, kriteria peralatan dan perangkat lunak, kriteria pemilihan jembatan, lokasi, kriteria personel, kriteria pemasangan sensor, kalibrasi sistem, akurasi, pengelompokan jenis kendaraan, kriteria data luaran, dan kebutuhan penunjang; serta prosedur pengukuran beban kendaraan dengan *WIM bridge* yang mencakup persiapan umum, survei pemilihan jembatan, pemasangan perangkat *WIM bridge*, pengaturan awal sistem, prosedur operasional dan pemeliharaan sistem, validasi dan analisis data luaran, dan prosedur pelaporan.

### 2 Acuan normatif

Dokumen referensi di bawah ini harus digunakan dan tidak dapat ditinggalkan untuk melaksanakan standar ini.

Pd. T-12-2003-B Pedoman perambuan sementara untuk pekerjaan jalan;

Pd. T-21-2005-B Pedoman pemeriksaan inventarisasi jembatan;

Peraturan Menteri Perhubungan Nomor KM 14 Tahun 2007 tentang Kendaraan Pengangkut Peti Kemas di Jalan

Surat Edaran Direktorat Jenderal Perhubungan Darat, Departemen Perhubungan Nomor: SE.02/AJ.108/DRJD/2008 tentang Panduan Batasan Maksimum Perhitungan JBI dan JBKI untuk Mobil Barang, Kendaraan Khusus, Kendaraan Penarik Berikut Kereta Tempelan/Kereta Gandengan

*COST 323 The European COST 323 Weigh-in-motion Specification*

### 3 Istilah dan definisi

Untuk tujuan penggunaan standar ini, istilah dan definisi berikut digunakan.

#### 3.1

##### **alat timbang kendaraan**

alat untuk menentukan atau mengetahui berat kendaraan beserta muatannya

#### 3.2

##### **bangunan atas**

bagian konstruksi jembatan yang berfungsi sebagai pemikul langsung beban lalu lintas yang melaluinya

#### 3.3

##### **berat sumbu**

bagian dari berat kendaraan yang didistribusikan ke jalan dan jembatan melalui sebuah sumbu kendaraan

### **3.4**

#### **jalan**

prasarana transportasi darat yang meliputi segala bagian jalan, termasuk bangunan pelengkap dan perlengkapannya yang diperuntukkan bagi lalu lintas, yang berada pada permukaan tanah, di atas permukaan tanah, di bawah permukaan tanah, dan/atau air, serta di atas permukaan air, kecuali jalan kereta api, jalan lori, dan jalan kabel

### **3.5**

#### **jalan pendekat**

struktur jalan yang menghubungkan antara suatu ruas jalan dengan struktur jembatan

### **3.6**

#### **jembatan**

bangunan pelengkap jalan yang berfungsi sebagai penghubung dua ujung jalan yang terputus oleh sungai, saluran, lembah, selat, laut, jalan raya, atau jalan kereta api

### **3.7**

#### **jembatan *box culvert***

jembatan yang struktur bangunannya merupakan struktur boks beton bertulang, tanpa gelagar, dan langsung menumpu pada dasar lantai kerja

### **3.8**

#### **jembatan gelagar**

jembatan yang lantainya tersusun dari satu atau beberapa balok yang didukung tiang sepanjang ruas bebasnya

### **3.9**

#### **jembatan pelat (*slab*)**

jembatan yang struktur bangunan atasnya merupakan pelat beton, tanpa gelagar, dan langsung menumpu pada kepala jembatan atau pilar

### **3.10**

#### **jembatan pelat ortotropik**

jembatan yang struktur bangunan atasnya menggunakan pelat lantai baja dengan sistem ortotropik, yaitu pelat baja yang dibentuk dengan tekukan pada kedua arah saling tegak lurus sehingga membentuk sistem rusuk yang kaku

### **3.11**

#### **kalibrasi**

kumpulan (seperangkat) operasi yang dipersyaratkan untuk memastikan bahwa peralatan pengukuran memenuhi persyaratan untuk pemakaian yang dimaksudkan

### **3.12**

#### **konfigurasi sumbu**

susunan sumbu suatu kendaraan yang biasa digunakan sebagai dasar dalam penentuan jenis kendaraan

### **3.13**

#### ***strain transducer* (transduser regangan)**

perangkat yang dipasang pada suatu elemen struktur untuk mengukur respons yang berupa regangan akibat gaya luar yang terjadi pada elemen struktur tersebut

### 3.14

#### truk

kendaraan bermotor pengangkut barang yang terdiri atas truk 2 sumbu hingga 6 sumbu, truk gandeng dengan bentuk tempat pengangkut barang berupa bak terbuka serta bak tertutup, dan truk dengan tempelan untuk mengangkut peti kemas yang disebut *trailer*

### 3.15

#### tumpuan jembatan

sistem hubungan antara struktur bangunan atas dan bangunan bawah jembatan

### 3.16

#### verifikasi

konfirmasi melalui penyediaan bukti objektif bahwa persyaratan yang ditentukan telah dipenuhi

## 4 Ketentuan

### 4.1 Umum

Pengukuran berat sumbu kendaraan harus memperhatikan aspek-aspek sebagai berikut:

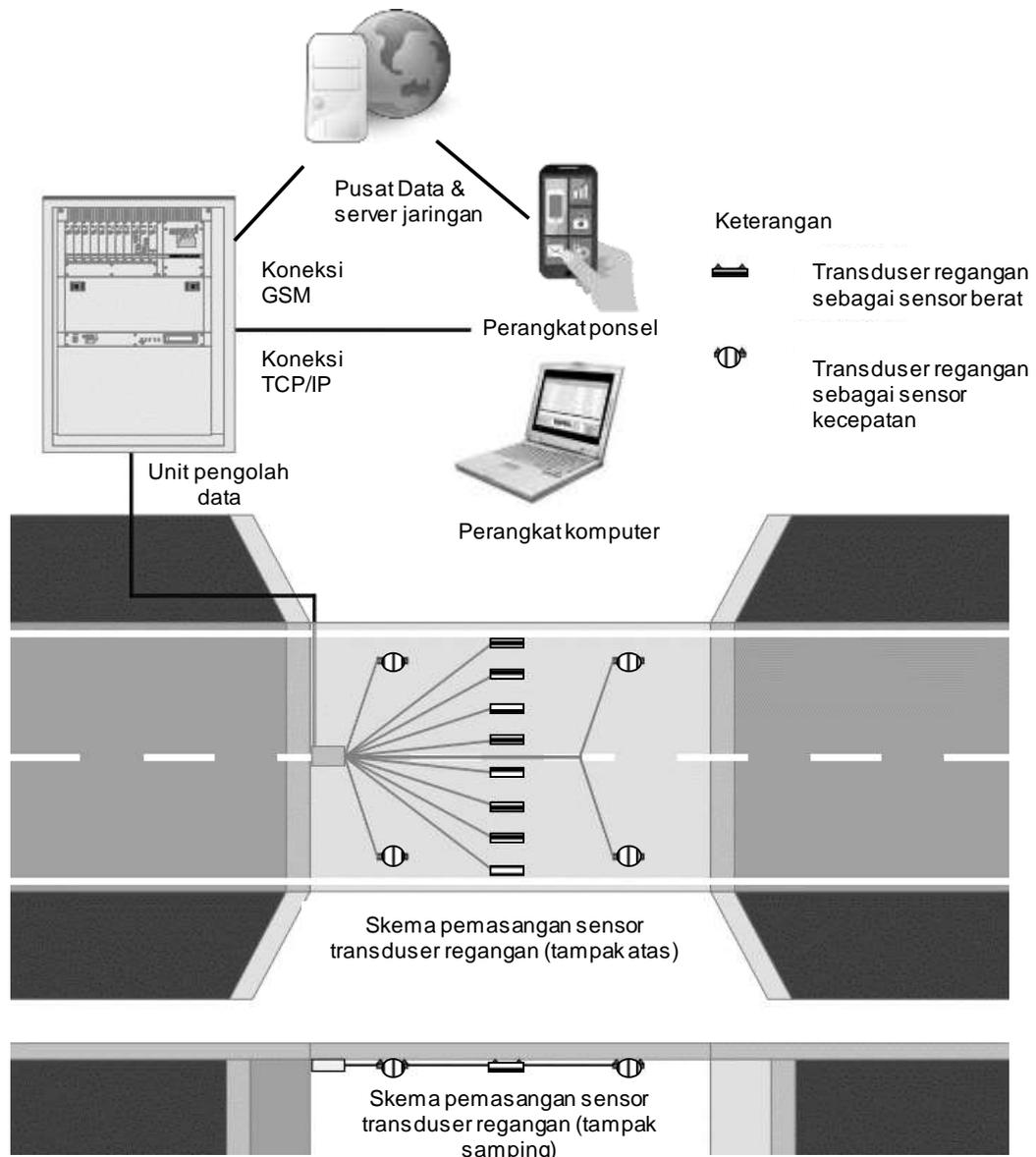
- a. Keamanan dan keselamatan, selama persiapan dan pelaksanaan pengukuran harus dipastikan bahwa personel, alat dan pengguna jalan terhindar dari bahaya yang mungkin timbul selama pelaksanaan pengukuran serta tersedia perambuan sementara (Pd. T-12-2003-B) dalam kondisi baik.
- b. Lingkungan, selama persiapan dan pelaksanaan pengukuran harus dipastikan bahwa seluruh penggunaan peralatan dan bahan tidak berdampak pada kerusakan lingkungan. Fasilitas penangkal atau pereduksi dampak gangguan kerusakan lingkungan harus tersedia dan siap untuk digunakan. Seluruh sisa bahan yang digunakan dalam pelaksanaan pengukuran harus dipastikan tidak dibuang di lokasi pengukuran, tetapi dibawa dan dibuang pada fasilitas pengelolaan limbah bahan yang baku.

### 4.2 Prinsip kerja sistem

Secara umum, prinsip kerja sistem pengukuran beban kendaraan dengan WIM berbasis jembatan (*WIM bridge*) adalah memanfaatkan jembatan sebagai instrumen pengukuran beban kendaraan bergerak yang melintas di atas jembatan tersebut. Instrumen sensor dipasang pada elemen jembatan yang digunakan untuk mengukur respons elemen tersebut terhadap beban lalu lintas yang dikonversi menjadi besaran beban lalu lintas itu kembali. Skema kerja sistem ini secara garis besar digambarkan pada Gambar 1. Respons struktur yang ditangkap oleh sensor regangan, dikumpulkan, dan diolah oleh unit pengolah data di lapangan yang terhubung dengan menggunakan kabel. Kemudian, dengan koneksi GSM atau TCP/IP, data yang dihasilkan dapat dipantau dengan perangkat komputer secara daring, baik secara langsung di lokasi, maupun jarak jauh melalui data yang dikirimkan melalui pusat data dan jaringan internet. Data hasil pengukuran beban juga dapat dipantau melalui perangkat ponsel melalui jaringan internet.

Sistem *WIM bridge* memiliki potensi lebih akurat jika dibandingkan dengan sistem WIM tipe lainnya karena jembatan yang digunakan sebagai media pengukuran beban, lebih panjang jika dibandingkan dengan media pengukuran WIM tipe lainnya. Kerataan permukaan perkerasan jalan yang tidak baik pada jalan pendekat adalah faktor utama yang menurunkan tingkat akurasi pengukuran dengan *WIM bridge*, dimana hasil pengukuran beban bergantung pada kecepatan kendaraan dan pergerakan dinamis kendaraan. Jika kondisi kerataan permukaan perkerasan jalan pendekat tidak baik, kendaraan yang melintas akan terdorong ke

atas akibat respons suspensi kendaraan sehingga memengaruhi kecepatan dan pergerakan dinamis kendaraan tersebut pada saat melintasi jembatan. Hal ini menyebabkan aksi kontak roda pada jembatan menjadi bervariasi dari nilai beban kendaraan yang sesungguhnya.

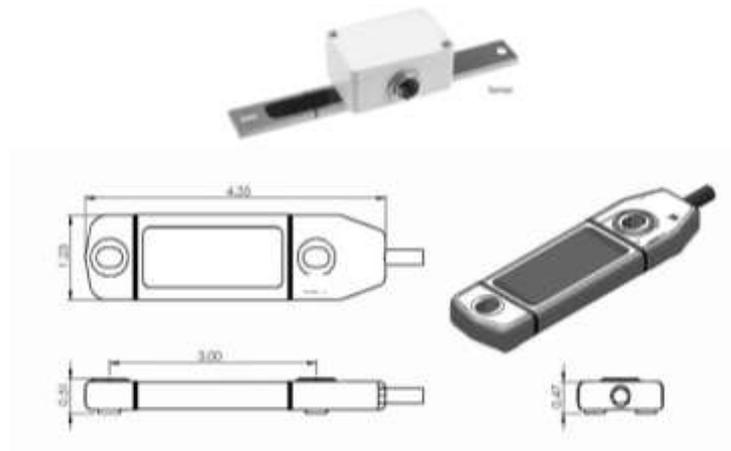


**Gambar 1 - Skema sistem WIM bridge**

### 4.3 Kriteria peralatan dan perangkat lunak

- a. Secara umum, sistem WIM *bridge* yang akan digunakan harus dipastikan dapat memenuhi kriteria sebagai berikut:
- sistem WIM dapat dipasang sebagai sistem portabel (dapat dipindah-pindahkan) dan juga dapat dipasang sebagai sistem permanen
  - kecepatan kendaraan yang dapat diukur 20 km/jam s.d. 100 km/jam
  - sistem dapat mengukur 2 lajur lalu lintas hingga 4 lajur lalu lintas untuk setiap jembatan
  - sistem dapat mengakomodasi hingga 32 sensor regangan

- pemasangan sensor dilakukan di bawah jembatan, tanpa memerlukan pemotongan permukaan perkerasan, dan tidak memerlukan penutupan jembatan selama pemasangan
  - sistem dapat mengirimkan data hasil pengukuran di lapangan secara langsung ke pusat data secara nirkabel dan hasil pengukuran dapat dipantau secara daring melalui media berbasis jaringan internet
  - akurasi minimum yang dapat diterima adalah Kelas C(15), mengacu Tabel 3, dengan penjelasan terkait tingkatan kelas akurasi WIM pada subpasal 4.8
  - minimum berat kendaraan yang dapat diukur 3.500 kg
  - sumber daya bisa menggunakan tipe AC atau DC
  - klasifikasi kendaraan dapat dikonfigurasi ke dalam sistem WIM berdasarkan kebutuhan, baik berupa jumlah sumbu maupun panjang kendaraan.
  - ketelitian pengukuran kecepatan kendaraan s.d. 2%
- b. Perangkat lunak yang akan digunakan harus memenuhi kriteria sebagai berikut:
- mudah digunakan, tampilan berbasis aplikasi web
  - perangkat lunak dapat berkomunikasi secara nirkabel dengan sistem perangkat keras di lapangan dan pusat data
  - sistem perangkat lunak dapat menyimpan data gambar dari kamera, data mentah pengukuran beban, dan rangkuman pengukuran beban di unit penyimpanan data dalam perangkat pengolah data, dan bisa dikirimkan secara daring melalui web
  - sistem perangkat lunak dapat mengolah data respons jembatan secara langsung menjadi data sebagai berikut: waktu melintasnya kendaraan, jumlah sumbu kendaraan, beban pada setiap sumbu kendaraan, berat kendaraan, beban kendaraan, jarak antar-sumbu kendaraan, dan kecepatan kendaraan.
  - Sistem perangkat lunak berbasis jaringan secara daring dapat digunakan untuk memantau kondisi perangkat keras di lapangan, di antaranya berupa kapasitas penyimpanan data tersisa, temperatur, dan kondisi sumber daya listrik.
- c. Perangkat keras yang akan digunakan harus memenuhi kriteria sebagai berikut:
- Transduser regangan:
    - harus dalam bentuk modul yang cukup aman terhadap pengaruh lingkungan luar (debu, air, dsb.) dengan spesifikasi minimal resistensi terhadap pengaruh lingkungan luar IP67. IP67 merupakan spesifikasi proteksi celah/bukaan pada peralatan elektronik yang mengharuskan proteksi total terhadap debu dan proteksi terhadap efek rendaman di antara 15 cm hingga 1 m.
    - temperatur kerja  $-10^{\circ}\text{C}$  s.d.  $+70^{\circ}\text{C}$
    - tipikal sensor transduser regangan yang telah dibuat dalam bentuk modul beserta dudukan/ *mounting* yang dapat dipasang pada elemen beton ataupun baja dapat dilihat pada Gambar 2.
    - setiap 8 buah transduser regangan yang dipasang di jembatan, digabungkan dengan kolektor sinyal transduser regangan, sehingga hanya satu kabel dari kolektor sinyal transduser regangan yang menyampaikan sinyal 8 transduser tersebut ke unit pengolah data. Gambar tipikal dari kolektor sinyal transduser regangan ini dapat dilihat pada Gambar 3.

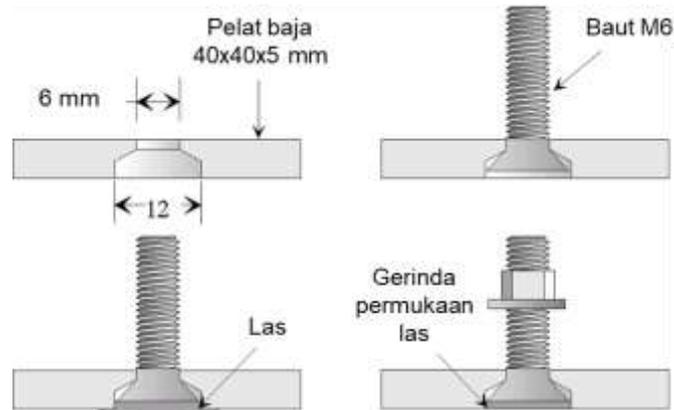


**Gambar 2 - Gambar tipikal transduser regangan**



**Gambar 3 - Gambar tipikal kolektor sinyal transduser regangan**

- untuk jenis material struktur baja atau untuk beton, tetapi tidak memungkinkan untuk pengeboran lubang untuk pemasangan transduser regangan, pemasangan transduser regangan dapat dilakukan dengan menggunakan dudukan baja, dudukan tersebut kemudian dilekatkan pada elemen jembatan menggunakan *epoxy resin*.
- dimensi dudukan baja yang digunakan adalah 40 x 40 x 5 mm dan dudukan ini terpasang sebuah baut baja sesuai lokasi lubang pada transduser regangan. Baut baja ini memiliki panjang 30 mm dan terpasang pada platform dengan cara dilas. Proses pembuatan satu buah platform baja ini dapat dilihat pada Gambar 4.



**Gambar 4 - Proses pembuatan dukungan baja untuk pemasangan transduser regangan pada elemen struktur baja**

- Unit pengolah data:
  - dilengkapi dengan kabinet berukuran 60 cm x 80 cm x 30 cm berbahan aluminium yang tahan untuk kondisi di luar ruangan seperti dapat dilihat pada Gambar 5.
  - jika kabinet ditempatkan di lokasi yang terpapar sinar matahari secara langsung, perlu dilengkapi dengan pelindung agar temperatur unit pengolah data dapat terjaga dan bekerja dengan optimal.
  - dilengkapi pengisi daya baterai cadangan listrik dengan tegangan 220 V
  - terdapat akses yang dapat dikunci. Akses ini digunakan untuk operasional dan pemeliharaan sistem
  - satu kesatuan unit komputer bersistem operasi Windows yang berfungsi untuk mendapatkan, memperbesar, dan memproses sinyal dari transduser regangan, untuk kemudian mengolah sinyal tersebut dengan perangkat lunak pengolahan data.
  - dilengkapi media penyimpanan data tipe *Solid State Disk* (SSD) berkapasitas 1 TB
  - dapat dikonfigurasi dari luar melalui jaringan Ethernet dan juga internet
  - dapat mengakomodasi minimal 8 saluran masuk dari kolektor sinyal transduser regangan
  - dilengkapi saluran kosong untuk kabel tanah



**Gambar 5 - Kabinet unit pengolah data**

- Unit komunikasi data eksternal:
  - unit terpisah dari unit pengolahan data, dilindungi kabinet tersendiri yang dapat dikunci dan dibuka seperti dapat dilihat pada Gambar 6.
  - fungsi utama dari unit komunikasi data eksternal ini adalah untuk mengirimkan data hasil pengolahan data dari unit pengolahan data ke pusat data sehingga dapat dilihat secara daring melalui jaringan internet.
  - berfungsi untuk menghubungkan sistem WIM *bridge* melalui jaringan *Virtual Private Network* (VPN) sehingga sistem dapat dikontrol dan data dapat dicadangkan dari jarak jauh.
  - menggunakan jaringan GSM dengan kualitas minimal HSDPA (3.5G)
  - dilengkapi GPS dan akses komunikasi data nirkabel *Wi-Fi*.



**Gambar 6 - Unit komunikasi data eksternal**

- Sensor temperatur
  - rentang temperatur  $-25^{\circ}\text{C}$  s.d.  $125^{\circ}\text{C}$
  - resolusi minimal  $0.1^{\circ}\text{C}$
  - akurasi minimal  $+0.5^{\circ}\text{C}$
  - untuk mengukur temperatur struktur jembatan dan juga unit pengolah data
  - fungsi utama dari pengukuran temperatur ini adalah untuk menyediakan data untuk kompensasi pembacaan data transduser terhadap pengaruh temperatur dan memantau kinerja unit pengolah data.
- Kamera
  - untuk mengambil foto dari kendaraan yang melintas jembatan dan terukur bebannya oleh sistem WIM *bridge*.
  - dapat mengambil foto kendaraan berdasarkan sinyal transduser regangan akibat beban kendaraan yang melintas sebagai pemicu pengambilan foto
  - sebagai media untuk memverifikasi hasil pengukuran berupa jenis kendaraan dan konfigurasi sumbu kendaraan yang terdeteksi oleh WIM *bridge*
  - dilengkapi dengan fitur *night vision* untuk mengambil foto kendaraan di malam hari
  - resolusi kamera minimal  $1280 \times 720 \text{ pixel}$

#### 4.4 Kriteria jembatan

Secara umum, lokasi jembatan yang digunakan harus berada pada jalan dengan lalu lintas yang lancar. Lokasi jembatan yang dekat dengan persimpangan jalan, persimpangan jalur kereta api, maupun jalan dengan kondisi lalu lintas yang sering tersendat, tidak direkomendasikan untuk pengukuran WIM, termasuk WIM *bridge*. Penggunaan jembatan di lokasi seperti ini hanya dapat diterima jika akurasi data yang dibutuhkan relatif lebih rendah.

Permukaan jalan pendekat dan di atas jembatan yang rata tanpa efek bumping, akan memberikan hasil pengukuran beban yang lebih akurat karena efek beban dinamis akan lebih kecil. Untuk jembatan bentang tunggal, bentang optimal jembatan untuk pengukuran WIM adalah 6 sampai dengan 12 meter, sedangkan untuk jembatan dengan banyak bentang dapat diambil salah satu bentang jembatan dengan panjang bentang hingga 12 meter. Secara umum, kriteria pemilihan bentang jembatan terhadap kecepatan lalu lintas di lokasi ditunjukkan pada Tabel 1. Pada Tabel 2 ditampilkan ringkasan kriteria pemilihan jembatan berdasarkan beberapa kriteria. Kriteria tersebut antara lain meliputi tipe material struktur jembatan, tipe bangunan atas jembatan, bentang jembatan, sudut jembatan, tumpuan jembatan, efek dinamis getaran jembatan, dan kondisi permukaan jalan.

**Tabel 1 - Kriteria pemilihan bentang jembatan terhadap kecepatan lalu lintas**

Kriteria	Ketentuan	Keterangan
Kecepatan lalu lintas 20 s.d. 40 km/jam	Jarak antar-sensor kecepatan 4 s.d. 6 m Bentang jembatan 6 m s.d. 12 m	Bentang jembatan 12 m s.d. 20 m masih dapat digunakan, dengan memperhatikan efek gangguan bacaan dari kendaraan lain
Kecepatan lalu lintas 40 s.d. 100 km/jam	Jarak antar-sensor kecepatan 6 s.d. 8 m Bentang jembatan 12 m s.d. 20 m	Bentang jembatan 20 m s.d. 30 m masih dapat digunakan, dengan memperhatikan efek gangguan bacaan dari kendaraan lain dan memperhatikan efek dinamis dari kecepatan kendaraan

Sumber rujukan: COST 323 *The European COST 323 Weigh-in-motion Specification*

**Tabel 2 - Kriteria pemilihan jembatan**

Kriteria	Ketentuan	Keterangan
Material struktur	- Beton prategang - Baja - Beton bertulang	Berurutan dari yang paling direkomendasikan
Bangunan atas jembatan	- Jembatan pelat ( <i>slab</i> ) - Jembatan <i>box culvert</i> - Jembatan gelagar - Jembatan dengan tipe lantai pelat ortotropik	Semua tipe jembatan ini dapat digunakan dengan baik
Bentang jembatan	Bentang tunggal: - Jembatan pelat ( <i>slab</i> ) atau <i>Box culvert</i> : 6 s.d 20 m - Jembatan gelagar: hingga 30 m	Lebih dari 2 bentang, perlu memperhitungkan pengaruh dinamis dari bentang yang berdekatan

**Tabel 2 - Kriteria pemilihan jembatan (lanjutan)**

Kriteria	Ketentuan	Keterangan
Tinggi bebas jembatan	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Jembatan di atas jalan raya: minimal 3.5 m dari dasar lantai jalan di bawahnya</li> <li>- Jembatan di atas sungai: minimal 2 m di atas muka air banjir</li> </ul>	Untuk Jembatan di atas jalan raya: perlu dipertimbangkan tinggi maksimal kendaraan yang melintas di bawahnya, minimal tersisa 0.5 m tinggi bebas antara batas kendaraan paling tinggi dengan permukaan bawah bangunan atas jembatan
Sudut antara abutmen dan arah mengemudi ( <i>skew</i> )	0° s.d. 20°	20° s.d. 45°, masih dapat digunakan dengan memperhitungkan pengaruh sudut terhadap respons jembatan
Tumpuan jembatan	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tipe <i>fix</i> / integral</li> <li>- Tumpuan sederhana</li> </ul>	Kedua tipe tumpuan jembatan dapat digunakan
Efek dinamis getaran jembatan	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Getaran akibat kendaraan yang melintas terasa tidak besar</li> <li>- Kurang dari 15% dari nilai statis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Getaran jembatan diperiksa secara kualitatif pada tahapan pemeriksaan lanjutan</li> <li>- Perbandingan nilai dengan statis didapat pada saat proses kalibrasi</li> </ul>
Permukaan jalan pendekat dan di atas jembatan	kondisi kerataan permukaan yang baik	Penilaian cukup dilakukan dengan pengamatan secara visual

#### 4.5 Kriteria personel

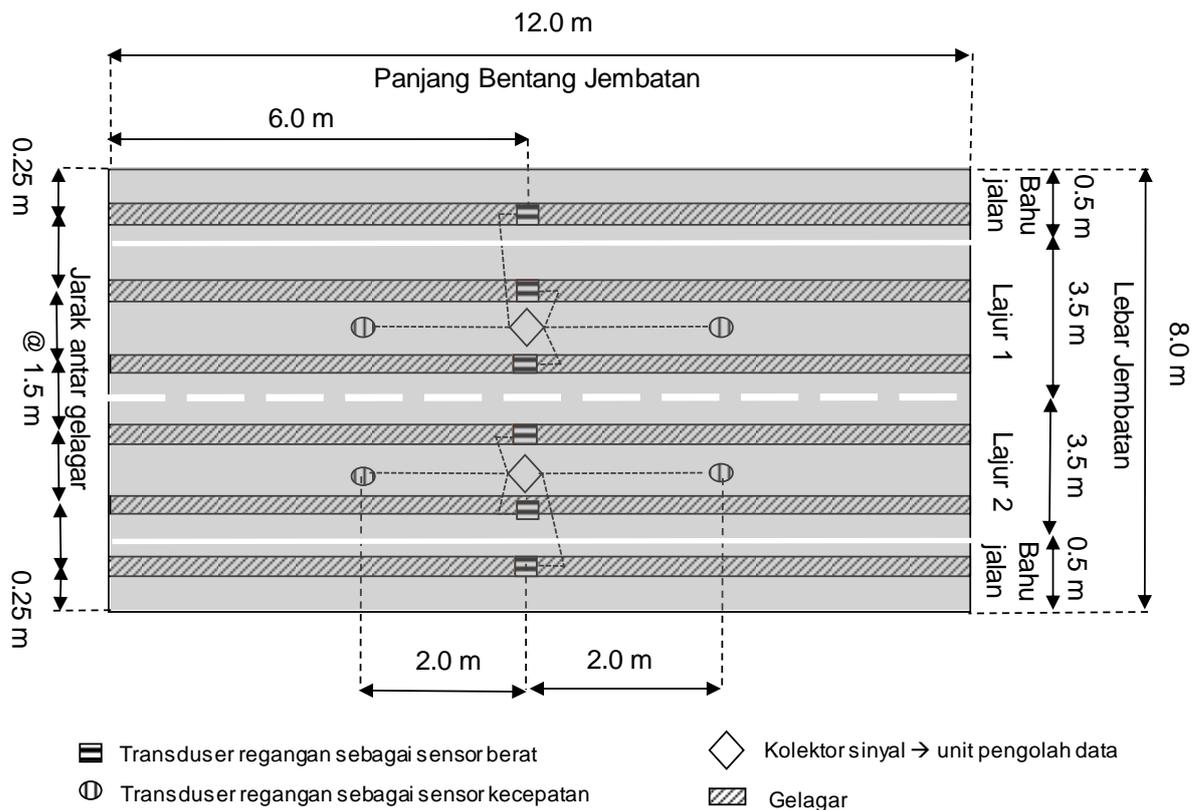
- a. Personel pelaksana pengukuran harus teroganisasi dengan baik, jumlah personel pelaksana pengukuran berat sumbu kendaraan minimum terdiri atas:
  - 1) seorang koordinator; dengan keahlian minimal S-1 Teknik Sipil/ Mekanikal/ Teknik Fisika/ Metrologi, berpengalaman minimal 3 tahun di bidangnya;
  - 2) seorang penyelia; dengan keahlian minimal S-1 Teknik Sipil, berpengalaman minimal 1 tahun di bidangnya;
  - 3) dua orang operator sistem;
  - 4) dua orang pengatur lalu lintas.
- b. Kemampuan personel pelaksana pengukuran harus memiliki kriteria sebagai berikut:
  - 1) koordinator: memahami tujuan pengukuran penimbangan, analisis data dan pelaporan hasil pengukuran, telah mengikuti pelatihan analisis data dan pemasangan sistem WIM *bridge*;
  - 2) penyelia pengukuran: mampu mengelola pelaksanaan pengukuran beban kendaraan dengan WIM *bridge* dan telah mengikuti pelatihan analisis data dan pemasangan sistem WIM *bridge*;
  - 3) operator sistem: mampu memasang dan mengoperasikan sistem, telah mengikuti pelatihan pemasangan dan pengukuran beban kendaraan dengan sistem WIM *bridge*;
  - 4) pengatur lalu lintas: memahami prosedur perambuan sementara (Pd. T-12-2003-B) yang diperlukan dalam pelaksanaan pengukuran, hal ini dimaksud sebagai jaminan keselamatan personel, alat serta pengguna jalan lainnya/
- c. Seluruh personel pelaksana pengukuran harus dipastikan telah menjalani pelatihan mengenai pemasangan dan pengukuran beban kendaraan dengan WIM *bridge*.
- d. Mampu menyelesaikan permasalahan (*trouble shooting*) yang terjadi pada saat pelaksanaan pemasangan dan pengukuran beban kendaraan dengan sistem WIM *bridge*.

#### 4.6 Kriteria pemasangan transduser regangan

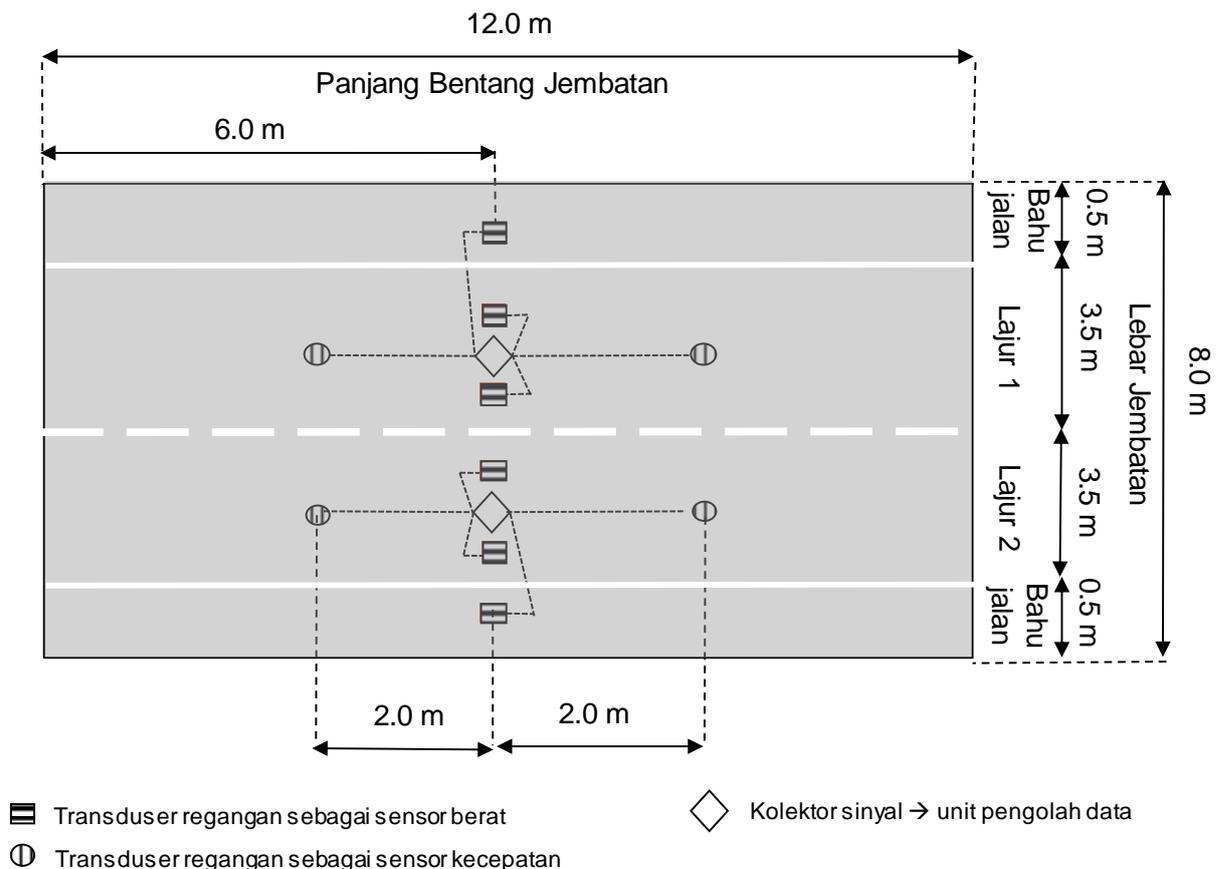
Sistem sensor yang terpasang terdiri atas sensor kecepatan yang dipasang pada arah longitudinal jembatan dan sensor pengukur berat yang dipasang seri dengan jarak sekitar ketebalan pelat sepanjang arah lateral jembatan. Sebagai tambahan, dipasang juga kamera untuk menangkap gambar dari kendaraan yang melintas.

Sensor ini seluruhnya merupakan transduser regangan yang berfungsi mengukur regangan yang dapat dikonversi menjadi tegangan elemen lentur jembatan (pelat ataupun gelagar). Seluruh sensor tersebut terhubung ke unit pengumpul data, di dalamnya terdiri atas fungsi amplifikasi, fungsi komputasi untuk mengubah gaya dalam atau tegangan menjadi beban sumbu dan kendaraan yang melintas, kecepatan, klasifikasi kendaraan, dan fungsi pengiriman data atau telemetri.

Lokasi pemasangan sensor harus direncanakan setelah tahapan pengukuran dimensi jembatan dengan mempertimbangkan jenis struktur jembatan dan ketebalan elemen pelat/gelagar jembatan untuk menentukan jarak antar-sensor. Tata letak ini diperlukan sebagai masukan dalam proses input parameter dimensi jembatan pada perangkat lunak pengolahan data. Beberapa tata letak tipikal pemasangan sensor transduser regangan untuk WIM *bridge* dengan jenis jembatan gelagar ditampilkan pada Gambar 7 dan jenis jembatan pelat atau *box culvert* ditampilkan pada Gambar 8.



**Gambar 7 - Tata letak tipikal jembatan tipe gelagar: dua lajur (tampak bawah)**



**Gambar 8 - Tata letak tipikal jembatan tipe pelat/ *box culvert*: dua lajur (tampak bawah)**

Jumlah sensor yang digunakan mengacu pada ketentuan sebagai berikut.

- Untuk jembatan tipe gelagar, dipasang sensor berat untuk setiap gelagar jembatan yang ada, jarak antar-sensor berat adalah sama dengan jarak antar-gelagar.
- Untuk jembatan tipe pelat/*box culvert*, dipasang sensor berat di bawah pelat lantai pada arah lateral dengan jarak maksimal antar-sensor adalah setebal pelat lantai jembatan.
- Sensor kecepatan/identifikasi sumbu kendaraan dipasang dua buah pada bagian bawah pelat lantai untuk setiap lajur kendaraan, dengan jarak antara kedua sensor mengacu pada Tabel 1.
- Untuk setiap lajur, kabel dari sensor berat dan sensor kecepatan digabungkan menjadi satu kabel melalui kolektor sinyal, yang dapat mengakomodasi hingga 8 buah transduser regangan.

#### 4.7 Kalibrasi sistem WIM *bridge*

Kalibrasi sistem perlu dilakukan di awal pengukuran, yaitu setelah pemasangan selesai, dan jika sistem permanen, dilakukan kalibrasi ulang dalam kurun waktu enam bulan sekali. Metode yang dapat digunakan dalam kalibrasi sistem WIM adalah dengan menggunakan beban kendaraan truk yang sudah diketahui beratnya secara statis. Hal ini disebabkan metode ini relatif lebih sederhana dan dapat dilaksanakan secara langsung, juga karena metode ini cocok digunakan untuk kalibrasi semua sistem WIM. Dalam proses kalibrasi ini, bisa didapatkan faktor efek dinamis, yaitu perbandingan antara hasil pengukuran beban total kendaraan WIM

*bridge* dengan pengukuran beban kendaraan secara statis, dengan nilai maksimal 15%, yang berkaitan dengan ketentuan akurasi pada subpasal 4.8.

Metode ini secara parsial mengeliminasi efek dinamis dari perkerasan, tetapi sensitif terhadap karakteristik dari kendaraan kalibrasi, misalnya terhadap tipe suspensi yang digunakan kendaraan. Sistem dikalibrasi dengan kondisi R1 (*partial reproducibility*), yaitu menggunakan satu kendaraan yang sudah diketahui berat statisnya, kemudian melintas di setiap lajur yang dikalibrasi, minimum 10 kali.

#### 4.8 Akurasi

Akurasi dari pengukuran dengan sistem WIM *bridge* bergantung pada tipe struktur, kualitas pemasangan instrumen pengukuran, tipe kalibrasi, dan kondisi permukaan perkerasan di atas jembatan dan jalan pendekat. Kelas akurasi yang dapat dicapai pengukuran dengan sistem WIM *bridge* adalah dari kelas *excellent* A(5) pada lokasi yang ideal hingga kelas *still acceptable* D(25) pada lokasi yang kurang ideal. Tingkat akurasi hasil pengukuran beban lalu lintas harus minimal memenuhi klasifikasi akurasi kelas C (15); kelas akurasi dapat dilihat pada Tabel 3. Jika tidak memenuhi kriteria ini, lokasi pengukuran harus dipindah ke jembatan lain atau jika diperlukan dibangun jembatan baru khusus untuk WIM *bridge*.

**Tabel 3 - Toleransi pengukuran untuk setiap kelas akurasi (dalam %)**

Kriteria	Batasan penggunaan	Kelas Akurasi (deviasi dalam %)						
		A(5)	B+(7)	B(10)	C(15)	D+(20)	D(25)	E
1. Berat total	Berat total > 3,5 t	5	7	10	15	20	25	>25
Berat sumbu	Beban sumbu > 1 t							
2. Grup sumbu		7	10	13	18	23	28	>28
3. Sumbu tunggal		8	11	15	20	25	30	>30
4. Salah satu sumbu pada grup		10	14	20	25	30	35	>35
Kecepatan	V > 20 km/jam	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

#### 4.9 Pengelompokan jenis kendaraan

Pengelompokan jenis kendaraan yang digunakan dalam pelaksanaan pengukuran harus sesuai dengan jenis kendaraan di Indonesia serta mengacu pada ketentuan jenis kendaraan menurut Bina Marga dan batasan beban yang digunakan adalah jumlah berat yang diizinkan (JBI) menurut Peraturan Menteri Perhubungan Nomor: KM 14 Tahun 2007 dan Surat Edaran Direktorat Jenderal Perhubungan Darat, Departemen Perhubungan Nomor: SE.02/AJ.108/DRJD/2008.

#### 4.10 Kriteria data luaran

Data hasil pengukuran beban kendaraan dengan WIM *bridge* harus dapat dipahami serta dipastikan telah diperiksa kelengkapannya serta dapat menggambarkan validitas dan kebenaran data. Hasil pengukuran WIM *bridge* harus dapat dipantau secara langsung dengan

jaringan internet (*real time live monitoring*) dan dapat disajikan dalam laporan WIM yang meliputi hal-hal berikut:

- nilai rata-rata harian dari beban lalu lintas,
- diagram waktu yang menunjukkan beban lalu lintas,
- hasil hitungan dari pengukuran WIM yang mengacu ke kategori kendaraan,
- mengukur kendaraan yang kelebihan beban,
- akurasi sistem yang diperoleh harus sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan dan akan ditampilkan sebagai bagian integral dari laporan,
- laporan juga harus mencakup data beban yang diizinkan jalan dan jembatan dan ada tanda jika ada pelanggaran batasan beban (*alert system*),
- luaran data yang diperoleh harus dapat ditampilkan dalam format tabulasi sesuai dengan Tabel 4,
- contoh luaran data hasil pengukuran dengan WIM *bridge* dapat dilihat pada Lampiran B.

**Tabel 4 - Format data luaran**

Kolom ke-	Data	Keterangan
1	Waktu	Format YYYY-DD-MM-HH-MM-SS-mmm
2	Lokasi pengukuran beban	
3	Nama proyek pengukuran beban	
4	Lajur	
5	Kecepatan	[m/detik]
6	Jumlah sumbu	
7	Kelas kendaraan	
8	Tipe dan konfigurasi sumbu	
9	Berat total kendaraan	[kN]
10	Berat gandar ke-1	[kN], beban satu gandar
11 + N	Beban gandar ke-N	[kN], beban N-gandar
16	Jarak total sumbu pertama ke terakhir	[m], $i = 1N - 1A_i$
17	Jarak antara sumbu pertama dengan sumbu berikutnya	[m]
18 + N	Jarak antara sumbu ke N-1 dengan sumbu ke N	[m]
22	Temperatur	[°C] temperatur elemen struktur

*Keterangan: YYYY-DD-MM-HH-MM-SS-mmm: format waktu, YYYY diisi dengan tahun, DD diisi dengan hari, MM diisi dengan bulan, HH diisi dengan jam, MM (kedua) diisi dengan menit, SS diisi dengan detik, dan mmm diisi dengan mili detik*

#### 4.11 Pelaporan

Data hasil pengukuran WIM *bridge* harus dianalisis untuk dapat dibuat laporan secara berkala, dalam rentang waktu mingguan dan bulanan, yang harus memenuhi hal-hal berikut:

- rekapitulasi hasil pengukuran beban total untuk setiap klasifikasi kendaraan dan analisis jumlah kendaraan yang melebihi batasan beban untuk setiap kelas kendaraan,
- rekapitulasi jumlah kendaraan yang melebihi batasan beban dari analisis setiap kelas kendaraan,
- rekapitulasi hasil pengukuran beban muatan sumbu terberat (MST) kendaraan untuk seluruh kendaraan dan analisis jumlah kendaraan yang melebihi batasan beban MST,
- data dapat ditampilkan dengan bentuk grafik yang mudah dipahami.

#### 4.12 Kebutuhan penunjang

Seluruh kebutuhan penunjang kegiatan pengukuran, seperti sumber daya energi, perambuan sementara, peralatan dokumentasi, serta bahan yang digunakan harus dipastikan dalam jumlah yang sesuai dengan kebutuhan pengukuran serta dalam kondisi baik dan memiliki (tersedia) cadangan.

### 5 Prosedur

#### 5.1 Persiapan umum

- a. Perencanaan pengukuran yang terdiri atas penentuan lokasi jembatan dan metode pelaksanaan pemasangan perangkat pengukuran beban.
- b. Penyusunan tim pemasangan perangkat dan pengukuran beban.
- c. Persiapan kelengkapan peralatan sistem WIM *bridge* dan peralatan penunjang, pengadaan bahan, administrasi perizinan, dan koordinasi.
- d. Survei pendahuluan, untuk memastikan lokasi pengukuran sudah memenuhi ketentuan pada subpasal 4.
- e. Pengecekan personel dan peralatan, untuk memastikan bahwa seluruh personel dan peralatan dalam kondisi baik.

#### 5.2 Survei pemilihan jembatan

Pengukuran berat kendaraan dengan WIM *bridge* dimulai dengan pemilihan jembatan yang memenuhi ketentuan teknis. Berikut adalah prosedur pemilihan jembatan yang dimaksud.

##### 5.2.1 Pemeriksaan awal jembatan calon lokasi WIM *bridge*

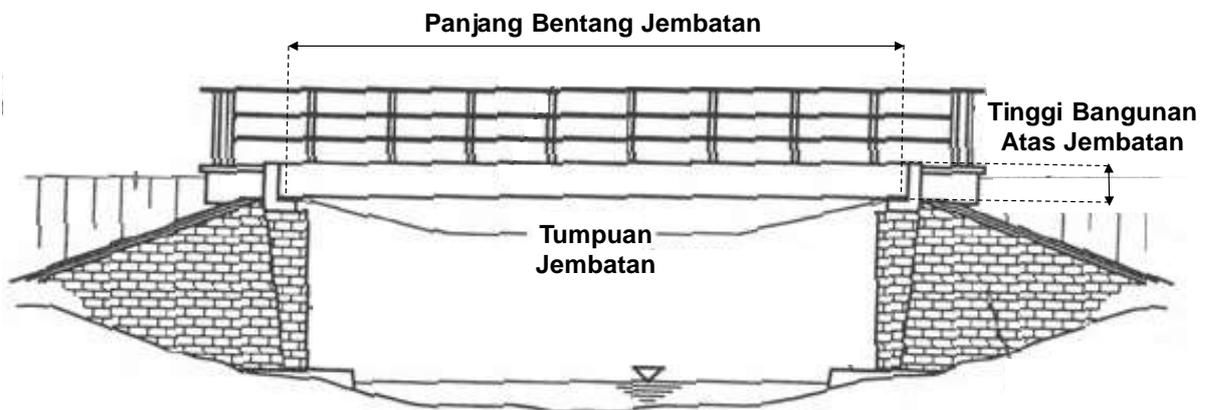
Pemeriksaan awal semua jembatan yang berada di ruas jalan yang dipilih dan memenuhi ketentuan pada subpasal 4.4 untuk dipilih lebih lanjut untuk pengukuran beban kendaraan dengan WIM *bridge*, antara lain sebagai berikut:

- a. Pengukuran panjang bentang jembatan, dipilih jembatan dengan bentang di bawah 30 m, sesuai dengan Tabel 1 dan Tabel 2
- b. Pemeriksaan jenis material elemen struktur, dipilih jembatan dengan material elemen struktur berupa struktur beton prategang, beton bertulang, dan baja sesuai dengan Tabel 2. Tipe material lain, seperti kayu dan *masonry* tidak dapat digunakan.
- c. Pemantauan kondisi lalu lintas, dipilih jembatan dengan kondisi lalu lintas yang lancar, lokasi jembatan harus berada cukup jauh dari Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas (APILL), persimpangan besar, persimpangan sebidang dengan kereta api, atau potensi penyebab antrean kendaraan atau kemacetan lainnya.
- d. Pemeriksaan kondisi jembatan, dipilih jembatan dengan kondisi struktur jembatan yang baik, khususnya kondisi elemen struktur bangunan atas.

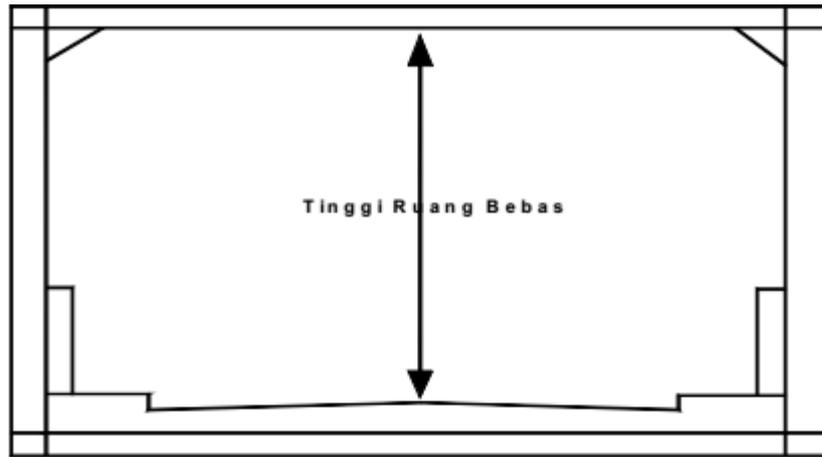
##### 5.2.2 Pemeriksaan lanjutan jembatan calon lokasi WIM *bridge*

Dari beberapa jembatan yang memenuhi ketentuan pada tahapan pemeriksaan awal pada subpasal 5.2.1, dapat dilakukan pemeriksaan lanjutan ke setiap lokasi jembatan tersebut. Pemeriksaan lanjutan ini dimaksudkan untuk mendapatkan informasi detail jembatan calon lokasi WIM *bridge* terhadap ketentuan pemilihan jembatan pada subpasal 4.4. Berikut adalah informasi yang dikumpulkan melalui pemeriksaan lanjutan, dilengkapi dengan foto atau video sebagai bukti visual.

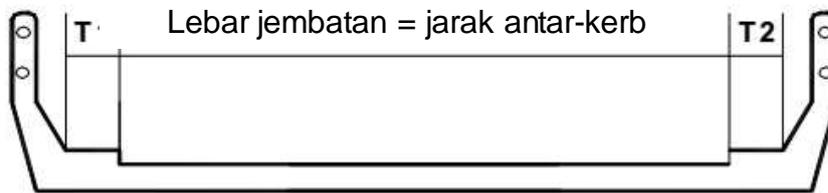
- a. Pengukuran dimensi jembatan: dilakukan pengukuran dimensi penting jembatan berdasarkan Pd T-21-2005-B. Untuk efisiensi pekerjaan, direkomendasikan menggunakan alat laser pengukur jarak, di samping penggunaan pita ukur. Berdasarkan pengukuran detail dimensi ini, sketsa gambar detail dimensi jembatan perlu dibuat.
- Panjang bentang, diukur dari as tumpuan kepala jembatan 1 ke as tumpuan kepala jembatan 2, untuk jembatan yang hanya mempunyai satu bentang dan untuk jembatan dengan bentang ganda, panjang bentang diukur dari as tumpuan kepala jembatan 1 ke as tumpuan pilar 1, as tumpuan pilar ke as tumpuan pilar atau as tumpuan pilar ke as tumpuan kepala jembatan, ditunjukkan pada Gambar 9.
  - Tinggi bebas jembatan, ialah jarak vertikal antara bagian bawah dari struktur jembatan dengan permukaan lantai lintasan jalan untuk jembatan tipe lintas atas dari jalan, atau jarak vertikal antara bagian bawah dari struktur jembatan dengan muka air banjir tertinggi (berdasarkan jejak tinggi air pada dinding jembatan atau informasi dari warga sekitar) untuk jembatan tipe lintas atas dari sungai. Pengukuran tinggi bebas jembatan yang dimaksud ditunjukkan Gambar 10. Informasi ini dibutuhkan untuk menentukan kebutuhan peralatan bantu untuk pemasangan perangkat sensor pada elemen jembatan, apakah memerlukan tangga, *scaffolding*, atau bahkan memerlukan kendaraan inspeksi khusus.
  - Jarak permukaan jalan ke lokasi sensor, ialah tebal pelat untuk jembatan pelat atau *box culvert*, atau tebal pelat ditambah tinggi gelagar untuk jembatan gelagar, dan sebagainya, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 9 sebagai tebal bangunan atas jembatan.
  - Lebar bangunan atas jembatan, ialah lebar antara kerb ke kerb, untuk memperkirakan lajur kendaraan yang dapat berpengaruh pada lokasi sensor, seperti ditunjukkan pada Gambar 11.
  - Sudut antara abutmen dan arah mengemudi (*skew*) yang diukur antara garis tegak lurus as jembatan dengan garis kemiringan jembatan, seperti ditunjukkan pada Gambar 12.



**Gambar 9 - Pengukuran panjang bentang jembatan**

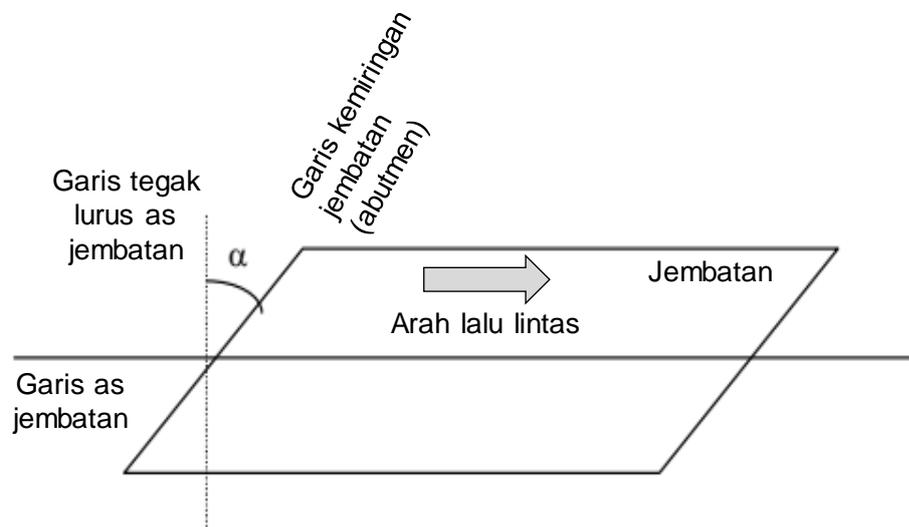


**Gambar 10 - Pengukuran tinggi ruang bebas jembatan**



$$\text{Lebar Trotoar} = T1 + T2$$

**Gambar 11 - Pengukuran lebar jembatan**



**Gambar 12 - Pengukuran sudut kemiringan jembatan /skew**

- b. Tipe struktur jembatan: sebagai konfirmasi dari pemeriksaan awal, dilakukan pemeriksaan tipe struktur jembatan yang dapat digunakan sebagai WIM *bridge*: jembatan tipe pelat beton bertulang (*slab*), jembatan *box culvert*, jembatan gelagar beton bertulang, jembatan gelagar beton pra tegang, jembatan gelagar baja komposit, atau jembatan dengan pelat ortotropik.
- c. Kondisi perkerasan jalan: pemeriksaan kondisi permukaan perkerasan jalan di atas jembatan dan sepanjang jalan pendekat. Pemeriksaan juga dilakukan untuk kondisi sambungan siar muai (*expansion joint*) pada jembatan (jika ada).

- d. Tipe tumpuan jembatan: pemeriksaan kondisi dan tipe tumpuan jembatan (tipe *fix*/jembatan integral, tumpuan sederhana, atau kondisi di antara kedua tipe tersebut).
- e. Efek dinamis getaran jembatan: pemeriksaan dilakukan dengan berdiri di bagian bahu jalan di tengah bentang jembatan dan rasakan besarnya getaran saat ada kendaraan melintas. Semakin mengganggu efek getaran yang dirasakan, semakin besar efek dinamis getaran jembatan.
- f. Kondisi lingkungan: pemeriksaan kondisi lingkungan di bawah jembatan (lintas atas dari jalan atau sungai). Jika jembatan sebagai lintas atas jalan, pemeriksaan kepadatan lalu lintas jalan di bawahnya juga diperlukan atau jika jembatan sebagai lintas atas sungai, pemeriksaan ketinggian muka air banjir sungai juga diperlukan (berdasarkan jejak tinggi air pada dinding jembatan atau informasi dari warga sekitar). Informasi ini berguna untuk menentukan keperluan alat bantu untuk pemasangan perangkat sensor pada elemen jembatan untuk jembatan lintas atas sungai atau keperluan pengaturan arus lalu lintas jalan raya pada jembatan lintas atas jalan.
- g. Pengaturan lalu lintas: jika jembatan merupakan lintas atas dari jalan, periksa kepadatan lalu lintas di bawah jembatan, apabila lalu lintas cukup padat dan tidak memungkinkan penutupan sementara lalu lintas di waktu lalu lintas padat, pemasangan perlu dilakukan di malam hari saat kepadatan lalu lintas rendah. Jika lalu lintas tidak padat, maka pengaturan lalu lintas dapat dilakukan dengan penutupan sementara jalan di bawah jembatan saat proses pemasangan.
- h. Akses ke bawah jembatan: pemeriksaan kemudahan akses menuju area di bawah jembatan
- i. Risiko banjir: informasi mengenai muka air banjir yang dapat terjadi bisa didapatkan dengan wawancara kepada warga sekitar, informasi ini diperlukan untuk memastikan seluruh instrumen WIM *bridge* yang dipasang di bawah bangunan atas jembatan seperti sensor, kabel, maupun unit pengolahan data aman terhadap risiko banjir.
- j. Lokasi kabinet unit proses: pemeriksaan lokasi di sekitar jembatan yang aman dan mudah untuk dipasang kabinet unit proses.
- k. Area parkir: pemeriksaan lokasi di sekitar yang dapat digunakan sebagai area parkir mobil operasional selama pemasangan, kalibrasi, dan perawatan sistem.
- l. Sumber daya listrik: pemeriksaan ketersediaan akses sumber daya listrik AC di lokasi
- m. Kondisi lalu lintas: pemantauan kepadatan dan kecepatan rata-rata arus lalu lintas di atas jembatan. Informasi ini diperlukan untuk memperkirakan waktu yang dibutuhkan untuk prosedur kalibrasi, kendaraan kalibrasi harus melintas di atas jembatan sebanyak 10 kali lintasan per lajur.
- n. Trotoar: pemeriksaan apakah terdapat trotoar di atas jembatan atau tidak.
- o. Risiko keamanan: pemeriksaan risiko adanya gangguan keamanan di lokasi jembatan, untuk dapat diantisipasi dengan melakukan pengamanan komponen WIM *bridge*.

### 5.2.3 Pemilihan jembatan

Berdasarkan informasi yang diperoleh melalui pemeriksaan visual awal dan pemeriksaan lanjutan, jembatan yang memenuhi semua persyaratan subpasal 4.4 dan memiliki paling banyak memenuhi ketentuan berdasarkan kelengkapan informasi yang didapat pada subpasal 5.2.2., dapat dipilih sebagai lokasi jembatan untuk pengukuran beban kendaraan dengan WIM *bridge* ini.

## 5.3 Pemasangan perangkat WIM *bridge*

### 5.3.1 Pemasangan transduser regangan

Untuk tipe material struktur beton/beton prategang, transduser regangan akan dipasang pada elemen tersebut dengan membuat lubang dudukan sebanyak dua buah untuk setiap

transduser. Sebelum membuat lubang untuk dudukan transduser tersebut, perlu dilakukan hal-hal sebagai berikut.

- Pemeriksaan kemungkinan adanya retak pada permukaan beton. Jika ada, lokasi transduser perlu digeser sekitar 30 cm pada arah memanjang, ke arah depan atau belakang. Perubahan posisi ini, jika dilakukan, perlu dicatat untuk penentuan parameter dalam perangkat lunak pengolah data.
- Pemeriksaan permukaan beton, apakah cukup rata dan halus untuk lokasi transduser. Permukaan yang tidak rata, misalnya lokasi sambungan bekisting, dapat menyebabkan pembacaan transduser regangan yang tidak akurat dan berpotensi mengalami kerusakan.
- Pemeriksaan lokasi baja tulangan tempat lokasi transduser regangan akan dipasang. Pemeriksaan yang dilakukan dengan menggunakan alat detektor baja tulangan ini dimaksudkan untuk menghindari kesulitan pengeboran karena terhalang baja tulangan.

Lubang pertama dibuat dengan alat bor sekitar 10 cm ke depan atau ke belakang dari titik pusat lokasi transduser seperti dapat dilihat pada Gambar 13. *Stencil* (cetakan) digunakan untuk membuat lubang kedua agar sesuai dengan ukuran titik lubang pada transduser. Lubang yang dibuat harus dipastikan tegak lurus terhadap permukaan, kemudian dilakukan pengecekan kedalaman lubang yang dibuat yang dilakukan dengan memasang *steel fissure* (angkur baja) ke dalam lubang hingga rata dengan permukaan seperti dapat dilihat pada Gambar 14.



**Gambar 13 - Pembuatan lubang untuk dudukan transduser regangan**



**Gambar 14 - Pemasangan ankur baja**

Apabila angkur baja telah terpasang dengan benar, transduser dapat dipasang dengan cara mengencangkan baut pada lubang transduser regangan, tepat pada lokasi angkur baja seperti dapat dilihat pada Gambar 15. Baut harus dipastikan cukup kencang dan dipastikan tidak dilakukan pengencangan baut secara berlebihan karena dapat merusak fungsi transduser.



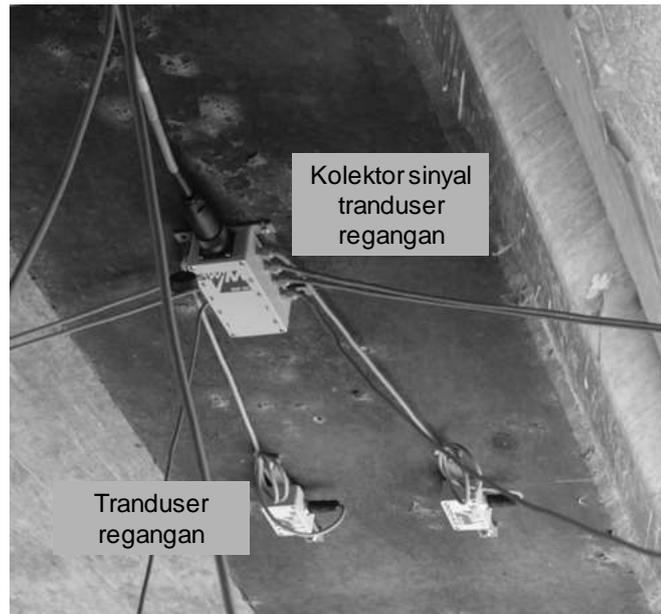
**Gambar 15 - Pengencangan baut pada transduser regangan**

Untuk jenis material struktur baja atau untuk beton, tetapi tidak memungkinkan untuk pengeboran lubang untuk pemasangan transduser regangan, pemasangan transduser regangan dapat dilakukan dengan menggunakan dudukan baja, dudukan tersebut kemudian dilekatkan pada elemen jembatan menggunakan *epoxy resin*.

Prosedur pemasangan transduser regangan dengan menggunakan dudukan baja adalah sebagai berikut.

- Transduser regangan dipasang pada dudukan baja dan pengencangan baut secara perlahan.
- Pembersihan permukaan elemen jembatan dari kotoran dengan lap di area pemasangan.
- Permukaan beton boleh dipanaskan jika dibutuhkan untuk menghilangkan kelembapan permukaan.
- Perekat (*epoxy resin*) diaplikasikan pada dudukan baja, kemudian transduser regangan ditekan pada elemen struktur dan perlu dipastikan tidak bergerak sampai perekat tersebut kering.
- Setelah perekat kering, baut transduser dapat dikencangkan sepenuhnya secara perlahan. Bergantung tipe perekat, waktu pengeringan perekat dapat membutuhkan waktu satu jam hingga satu hari.

Sebelum transduser regangan dihubungkan dengan pengolah data, dapat dilakukan pemasangan kolektor sinyal dari transduser sesuai dengan prosedur pemasangan transduser regangan di atas. Kolektor sinyal ini berfungsi untuk mengumpulkan sinyal dari 8 transduser menjadi satu kabel (*25 wire cable*) menuju pengolah data, seperti dapat dilihat pada Gambar 16. Lokasi paling optimal untuk pemasangan kolektor sinyal ini adalah di tengah-tengah dari setiap 8 transduser. Pertama-tama, kabel kolektor sinyal dihubungkan dengan transduser (dengan memperhatikan penomoran untuk setiap transduser). Kemudian, kabel dikencangkan dengan menggulung kabel sisa dan sisa kabel diikat. Namun, jika tidak menggunakan kolektor sinyal, transduser regangan dapat dihubungkan langsung dengan pengolah data dengan konsekuensi kabel yang dibutuhkan akan lebih banyak.



**Gambar 16 - Pemasangan kolektor sinyal dan transduser regangan**

### **5.3.2 Pemasangan sensor temperatur**

Sensor temperatur yang digunakan, seperti dapat dilihat pada Gambar 17, dipasang pada elemen struktur di dekat lokasi transduser regangan dan juga di unit pengolahan data. Pada elemen struktur dengan material berupa beton, perlu dibuat lubang untuk memasukkan sensor temperatur, dengan lokasi lubang berada di tengah elemen jembatan.



**Gambar 17 - Sensor Temperatur**

### **5.3.3 Unit pengolahan data**

Unit pengolahan data dapat dipasang di dinding abutmen jembatan atau di luar jembatan. Hal ini bergantung dengan hasil pemeriksaan lanjutan pada subpasal 5.2.2. khususnya terkait risiko banjir dan risiko gangguan keamanan. Jika kabinet ditempatkan di lokasi yang terpapar sinar matahari secara langsung, perlu dilengkapi dengan pelindung agar temperatur unit pengolahan data dapat terjaga dan bekerja dengan optimal seperti dapat dilihat di Gambar 18. Sumber daya listrik di lokasi perlu dipastikan, apakah ada akses sumber listrik atau jika tidak ada, dapat menggunakan sumber daya berupa panel surya.



**Gambar 18 - Pemasangan unit pengolah data dan unit komunikasi data eksternal**

#### **5.3.4 Unit komunikasi data eksternal**

Unit komunikasi data eksternal ini dipasang di atas lokasi unit pengolah data terpasang dan terhubung dengan kabel daya dan kabel jaringan unit pengolah data seperti dapat dilihat pada Gambar 18. Unit komunikasi data eksternal ini sedapat mungkin dipasang di lokasi yang cukup tinggi sehingga sinyal GSM yang didapatkan cukup baik untuk kelancaran komunikasi data sistem WIM *bridge*.

#### **5.3.5 Pemasangan kamera**

Pemasangan kamera dilakukan pada tiang yang didirikan di samping jalan pada arah keluar jembatan, dengan sudut pandang kamera yang disesuaikan terhadap lalu lintas di atas jembatan seperti dapat dilihat pada Gambar 19. Tinggi tiang minimal yang digunakan adalah 6 meter. Jarak tiang kamera ke unit pengolah data perlu diperhitungkan agar pandangan kamera cukup baik dan sambungan kabel pada unit pengolah data dapat memadai.



**Gambar 19 - Pemasangan Kamera**

#### **5.4 Pengaturan awal sistem WIM *bridge***

##### **5.4.1 Input parameter jembatan dalam Sistem WIM *bridge***

- a. Skema pemasangan sensor dan dimensi jembatan hasil pemilihan jembatan pada subpasal 5.2 dimasukkan ke dalam perangkat lunak sistem.
- b. Data detail kendaraan kalibrasi yang didapat dengan prosedur pada subpasal 5.4.2, dimasukkan ke dalam perangkat lunak sistem. Data tersebut antara lain berat setiap sumbu, berat total, dan jarak antar-sumbu kendaraan.
- c. Penentuan batas bawah sinyal dilakukan untuk mengeliminasi gangguan bacaan yang terjadi.

##### **5.4.2 Kalibrasi sistem WIM *bridge***

- a. Truk tiga sumbu dengan berat total sekitar 35 – 45 ton dapat digunakan sebagai kendaraan kalibrasi.
- b. Kendaraan kalibrasi ditimbang secara statis, berat setiap sumbu dan berat total kendaraan dicatat.
- c. Pengukuran jarak antar-sumbu dari kendaraan kalibrasi.
- d. Kendaraan kalibrasi melintasi setiap lajur yang dikalibrasi masing-masing sebanyak 10 kali lintasan dengan kecepatan normal tanpa ada kendaraan lain yang melintas di atas jembatan pada saat yang sama.
- e. Jika lalu lintas di lokasi cukup padat, penutupan sementara lalu lintas perlu dilakukan agar subpasal 5.4.2.d dapat dilaksanakan.
- f. Akurasi pengukuran WIM *bridge* dapat diperhitungkan setelah kalibrasi selesai.

### 5.4.3 Verifikasi

- a. Uji verifikasi adalah pengukuran dengan WIM *bridge* yang dilakukan secara acak terhadap kendaraan yang melintas.
- b. Tujuan verifikasi adalah untuk membandingkan hasil pengukuran beban kendaraan secara statis dengan hasil pengukuran beban kendaraan bergerak dengan WIM *bridge*.
- c. Kegiatan ini memerlukan tim untuk memberhentikan kendaraan yang telah melintas pada jembatan untuk diukur bebannya secara statis.
- d. Verifikasi dilakukan untuk beberapa kendaraan dengan tipe dan karakteristik beban yang berbeda untuk mengetahui simpangan hasil pengukuran dari WIM *bridge* dengan metode pengukuran statis.
- e. Simpangan hasil pengukuran dari WIM *bridge* dengan metode pengukuran statis ini berguna untuk menentukan toleransi hasil pengukuran WIM *bridge* untuk kebutuhan penindakan pelanggaran beban muatan kendaraan berlebih.

## 5.5 Prosedur operasional dan pemeliharaan sistem WIM *bridge*

### 5.5.1 Sistem portabel

- a. Setelah dilakukan pemasangan sensor dan kalibrasi sistem, konektivitas data dengan akses web perlu dipastikan dapat berjalan dengan baik.
- b. Perekaman data pengukuran beban kendaraan dimulai.
- c. Pemantauan sistem secara berkala dilakukan melalui perangkat lunak berbasis web. Hal yang perlu dipantau adalah status daya dan kapasitas tersisa pada unit pengolah data. Data pengukuran akan disimpan dalam *hard disk* dan *flash disk* secara bersamaan. Fungsi *flash disk* adalah sebagai unit cadangan data yang dapat diambil dan diganti dengan *flash disk* lain yang kosong.
- d. Pada saat sisa kapasitas pada unit pengolah data dan cadangan data hampir penuh, pengambilan data dapat dilakukan dengan mengeluarkan *flash disk* unit cadangan data dan menggantinya dengan *flash disk* lain yang kosong. Kemudian data pada *hard disk* unit pengolahan data dapat dihapus, sesuai interval data pengukuran yang terdapat pada cadangan data. Proses ini dapat dilakukan secara berkala, misalnya satu bulan sekali, bergantung pada kondisi kapasitas sisa dari penyimpanan data.
- e. Saat melakukan proses pengambilan data, pemeriksaan secara visual dilakukan terhadap unit pengolah data, unit komunikasi data eksternal, kabel, kamera, dan sensor di bawah jembatan, untuk memastikan tidak ada masalah yang terjadi atau kemungkinan dapat terjadi.
- f. Prosedur kalibrasi ulang perlu dilakukan dalam interval enam bulan sekali, untuk mengetahui apakah ada sesuatu yang dapat berpengaruh kepada kinerja sistem dan struktur jembatan terhadap pengukuran beban kendaraan.
- g. Setelah durasi pengukuran beban terpenuhi, perekaman data dapat dihentikan.
- h. Bongkar sensor dan sistem WIM *bridge* setelah pengukuran beban selesai

### 5.5.2 Sistem permanen

- a. Setelah dilakukan pemasangan sensor dan kalibrasi sistem, konektivitas data dengan akses web perlu dipastikan dapat berjalan dengan baik
- b. Perekaman data pengukuran beban kendaraan dimulai
- c. Pemantauan sistem secara berkala dilakukan melalui perangkat lunak berbasis web. Hal yang perlu dipantau adalah status daya dan kapasitas tersisa pada unit pengolah data. Data pengukuran akan disimpan dalam *hard disk* dan *flash disk* secara bersamaan. Fungsi *flash disk* adalah sebagai unit cadangan data yang dapat diambil dan diganti dengan *flash disk* lain yang kosong.
- d. Resume data hasil pengukuran dikirimkan ke pusat data dan dapat dipantau secara langsung dan daring melalui media berbasis web.

- e. Pada saat sisa kapasitas pada unit pengolah data dan cadangan data hampir penuh, pengambilan data dapat dilakukan dengan mengeluarkan *flash disk* unit cadangan data dan menggantinya dengan *flash disk* lain yang kosong. Kemudian, data pada *hard disk* unit pengolahan data dapat dihapus, sesuai interval data pengukuran yang terdapat pada cadangan data. Proses ini dapat dilakukan secara berkala, misalnya satu bulan sekali, bergantung pada kondisi kapasitas sisa dari penyimpanan data.
- f. Saat melakukan proses pengambilan data, pemeriksaan secara visual dilakukan terhadap unit pengolah data, unit komunikasi data eksternal, kabel, kamera, dan sensor di bawah jembatan, untuk memastikan tidak ada masalah yang terjadi atau kemungkinan dapat terjadi.
- g. Prosedur kalibrasi ulang perlu dilakukan dalam interval enam bulan sekali, untuk mengetahui apakah ada sesuatu yang dapat berpengaruh kepada kinerja sistem dan struktur jembatan terhadap pengukuran beban kendaraan.

## 5.6 Validasi dan analisis data luaran

- a. Data luaran dibuat secara otomatis oleh unit pengolah data, dengan format berdasarkan ketentuan dalam subpasal 4.10 dengan rentang data harian.
- b. Untuk membuat rekapitulasi dalam rentang mingguan, bulanan, atau hingga rentang keseluruhan waktu pengukuran beban, data harian digabungkan dalam satu tabel.
- c. Validasi terhadap data hasil pengukuran dengan melakukan penyaringan data yang tidak representatif, misalnya terdeteksi keberadaan lebih dari satu kendaraan di atas jembatan di saat yang bersamaan sehingga menghasilkan beban kendaraan yang tidak sesuai.
- d. Analisis data dilakukan untuk mengetahui distribusi beban total kendaraan setiap kelas kendaraan dan beban sumbu kendaraan untuk keperluan evaluasi terhadap ketentuan batasan beban, sesuai jumlah berat yang diizinkan (JBI) menurut Peraturan Menteri Perhubungan Nomor: KM 14 Tahun 2007 dan Surat Edaran Direktorat Jenderal Perhubungan Darat, Departemen Perhubungan Nomor: SE.02/AJ.108/DRJD/2008. Batasan beban setiap kelas kendaraan yang dimaksud dapat dilihat pada Lampiran A.

## 5.7 Pelaporan

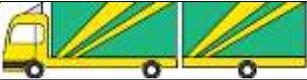
- a. Laporan hasil pengukuran beban kendaraan dengan WIM *bridge* dibuat dengan menggunakan data luaran.
- b. Laporan dapat dibuat dalam rentang laporan mingguan, laporan bulanan, ataupun laporan tahunan. Hal ini bergantung pada kebutuhan dan rentang waktu pengukuran beban kendaraan dengan WIM *bridge* yang dilaksanakan.
- c. Laporan terdiri atas bagian pendahuluan (latar belakang, tujuan, lokasi kegiatan pengukuran beban, dan lingkup laporan), rekapitulasi data hasil pengukuran sesuai dengan rentang waktu pelaporan (berisi grafik beban kendaraan terhadap waktu pengukuran), dan analisis data hasil pengukuran (berisi grafik distribusi beban kendaraan, yang dibandingkan dengan ketentuan muatan beban kendaraan sesuai dengan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor: KM 14 Tahun 2007 dan Surat Edaran Direktorat Jenderal Perhubungan Darat, Departemen Perhubungan Nomor: SE.02/AJ.108/DRJD/2008), dan simpulan.
- d. Data dan laporan hasil pengukuran beban kendaraan dengan WIM *bridge* disimpan di dalam pusat data sehingga dapat diakses setiap saat oleh pengguna.

**Lampiran A (informatif)**  
**Penyesuaian pengelompokan jenis kendaraan**

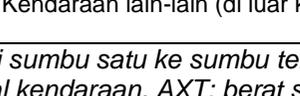
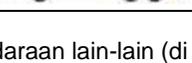
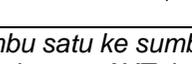
Tabel A - Kelompok jenis kendaraan

Kategori	Bina Marga	Kelas	Jumlah sumbu	Sketsa kendaraan	Konfigurasi Sumbu	Nilai	Dimensi/Jarak sumbu kendaraan berdasarkan EURO13 (m)					Berat maksimum berdasarkan JBI dan JBKI Kementerian Perhubungan (ton)					
							TP	A1	A2	A3	A4	A5	GVW	A1T	A2T	A3T	A4T
0	1	10	2		1.1	min	0.90	0.90									
						maks	2.00	2.00					1				
0	2	20	2		1.1	min	1.71	1.71									
						maks	3.50	3.50					3.5				
0	3,4	30	2		1.1	min	1.89	1.89									
						maks	2.96	2.96					3.5				
0	3	31	3		1.1-1	min	3.79	1.89	1.90								
						maks	6.97	2.96	4.01				5				
0	3	32	4		1.1-11	min	6.44	1.89	3.50	1.05							
						maks	10.28	2.96	6.01	1.31			5				
0	3	33	4		1.1-11	min	4.29	1.89	1.90	0.50							
						maks	10.31	2.99	6.01	1.31			5				
1	6b	40	2		1.2	min	2.99	2.99									
						Truk 2 sumbu	maks	4.51	4.51				16	6	10		
2	7a	50	3		11.2	min	3.00	1.00	2.00								
						Truk 3 sumbu	maks	8.92	1.91	7.01			21	5	6	10	
2	7a	51	3		1.22	min	3.00	2.00	1.00								
						Truk 3 sumbu	maks	8.92	7.01	1.91			24	6	9	9	
2	7a	57	3		1.222	min	5.00	3.00	1.00	1.00							
						Truk 4 sumbu	maks	14.03	9.01	2.51	2.51		30	6	8	8	8

**Tabel A - Kelompok Jenis Kendaraan (lanjutan)**

2	7a	58	4		11.22	min	4.00	1.00	2.00	1.00								
					Truk 4 sumbu	maks	15.92	1.91	12.10	1.91			33	6	7	10	10	
2	7a	59	5		11.222	min	5.00	1.00	2.00	1.00	1.00							
					Truk 5 sumbu	maks	17.74	1.91	12.01	1.91	1.91		37	6	7	8	8	8
3	7b	60	3		1.2-1	min	4.55	2.65	1.90									
					Truk trailer	maks	13.22	9.21	4.01				26	6	10	10		
3	7b	61	4		1.2-2.2	min	7.46	2.96	2.00	2.50								
					Truk trailer	maks	36.03	12.01	12.01	12.01			36	6	10	10	10	
3	7b	62	4		1.2-22	min	5.96	2.96	2.50	0.50								
					Truk trailer	maks	20.73	9.21	9.01	2.51			36	6	10	10	10	
3	7b	63	5		1.2-2.22	min	6.00	2.00	1.00	2.00	1.00							
					Truk trailer	maks	37.94	12.01	12.01	12.01	1.91		46	6	10	10	10	10
3	7b	70	5		1.22-2.2	min	7.40	2.00	1.00	1.90	2.50							
					Truk trailer	maks	37.94	12.01	1.91	12.01	12.01		46	6	10	10	10	10
3	7b	71	6		1.22-2.22	min	7.90	2.00	1.00	1.90	2.00	1.0						
					Truk trailer	maks	39.80	12.00	1.90	12.00	12.00	1.9	46	6	10	10	10	10
4	8	100	3		1.2-2	min	5.90	1.89	4.01									
					Truk semi trailer	maks	16.00	4.00	12.00				26	6	10	10		
4	8	101	4		1.2-22	min	6.44	1.89	3.50	1.05								
					Truk semi trailer	maks	18.51	4.00	12.00	2.51			34	6	10	9	9	
4	8	102	5		1.2-222	min	5.40	2.00	2.00	0.70	0.70							
					Truk semi trailer	maks	27.63	12.01	12.00	1.81	1.81		46	6	10	10	10	10
4	8	110	4		11.2-2	min	4.90	1.00	1.90	2.00								
					Truk semi trailer	maks	25.92	1.91	12.01	12.00			31	5	6	10	10	
4	8	111	4		1.22-2	min	3.70	1.70	1.00	1.00								

**Tabel A - Kelompok Jenis Kendaraan (lanjutan)**

					Truk semi trailer	maks	19.17	5.26	1.91	12.00			36	6	10	10	10	
4	8	112	5		1.22-22	min	5.70	1.70	1.00	2.00	1.00							
					Truk semi trailer	maks	21.68	5.26	1.91	12.00	2.51		46	6	10	10	10	10
4	8	113	5		11.2-22	min	5.90	1.00	1.90	2.00	1.00							
					Truk semi trailer	maks	28.43	1.91	12.01	12.00	2.51		41	5	6	10	10	10
4	8	120	6		1.22-222	min	6.90	1.90	1.00	2.00	1.00	1.0						
					Truk semi trailer	maks	22.95	5.25	1.90	12.00	1.90	1.9	46	6	10	10	10	10
5	5b	41	2		1.2	min	4.51	4.51										
					Bus	maks	7.00	7.00					16	6	10			
5	5b	56	3		1.22	min	3.00	2.00	1.00									
					Bus besar	maks	13.89	12.00	1.89				24	6	9	9		
6		140		Kendaraan lain-lain (di luar klasifikasi)														

*TP: total panjang dari sumbu satu ke sumbu terakhir, AX: jarak dari sumbu ke-x ke sumbu berikutnya (contoh: A1 = jarak sumbu 1 ke sumbu 2),  
GVW: Berat total kendaraan, AXT: berat sumbu ke-x (contoh: A1T = berat sumbu 1), V: kecepatan kendaraan, T: Temperatur struktur*

**Lampiran B (informatif)**  
**Contoh data luaran hasil pengukuran beban kendaraan dengan WIM *bridge***

**Tabel B - Data luaran hasil pengukuran beban kendaraan dengan WIM *bridge***

Waktu [YYYY-DD- MM-HH- MM-SS- mmm ]	Lokasi pengukuran beban	Nama proyek pengukuran beban	Lalur	V	N	Kelas	Konf. sumbu	GVW	A1T	A2T	A3T	A4T	A5T	A6T	TP	A1	A2	A3	A4	A5	T
				[m/det]				[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[°C]
2017-08-01-00-00-13-916	Jembatan Pawiro Baru B	WIM_Bridge Pusjatan_2017	2	16.52	3	51	1.22	102.01	43.75	29.13	29.13				7.35	6.03	1.32				29.74
2017-08-01-00-00-18-500	Jembatan Pawiro Baru B	WIM_Bridge Pusjatan_2017	1	7.70	2	40	1.2	239.43	75.62	163.81					5.76	5.76					29.74
2017-08-01-00-00-19-779	Jembatan Pawiro Baru B	WIM_Bridge Pusjatan_2017	2	17.81	2	40	1.2	124.42	44.55	79.87					6.19	6.19					29.74
2017-08-01-00-00-48-402	Jembatan Pawiro Baru B	WIM_Bridge Pusjatan_2017	1	11.13	2	30	1.1	73.20	23.60	49.60					3.37	3.37					29.72
2017-08-01-00-00-52-572	Jembatan Pawiro Baru B	WIM_Bridge Pusjatan_2017	2	8.00	6	120	1.22-222	682.94	65.00	87.58	87.58	147.59	147.59	147.59	12.92	2.81	1.28	6.05	1.48	1.30	29.72
2017-08-01-00-00-59-042	Jembatan Pawiro Baru B	WIM_Bridge Pusjatan_2017	2	8.94	4	61	1.2-2.2	491.93	63.19	187.11	122.15	119.48			15.46	4.96	5.87	4.63			29.71
2017-08-01-00-01-01-435	Jembatan Pawiro Baru B	WIM_Bridge Pusjatan_2017	1	11.25	2	40	1.2	150.79	59.98	90.81					6.02	6.02					29.71
2017-08-01-00-01-12-150	Jembatan Pawiro Baru B	WIM_Bridge Pusjatan_2017	2	16.93	2	30	1.1	122.06	36.48	85.58					3.31	3.31					29.71
2017-08-01-00-01-14-509	Jembatan Pawiro Baru B	WIM_Bridge Pusjatan_2017	1	12.34	2	40	1.2	149.81	52.33	97.48					5.95	5.95					29.71
2017-08-01-00-01-17-078	Jembatan Pawiro Baru B	WIM_Bridge Pusjatan_2017	2	15.52	2	40	1.2	137.74	41.83	95.91					6.06	6.06					29.71

**Tabel B - Data luaran hasil pengukuran beban kendaraan dengan WIM *bridge* (lanjutan)**

Waktu [YYYY-DD- MM-HH- MM-SS- mmm ]	Lokasi pengukuran beban	Nama proyek pengukuran beban	Lajur	V	N	Kelas	Konf. sumbu	GVW	A1T	A2T	A3T	A4T	A5T	A6T	TP	A1	A2	A3	A4	A5	T
				[m/det]				[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[°C]
2017-08-01-00-01-24-886	Jembatan Pawiro Baru B	WIM_Bridge Pusjatan_2017	1	11.25	3	51	1.22	150.51	38.27	56.12	56.12				6.86	5.65	1.21				29.71
2017-08-01-00-01-37-119	Jembatan Pawiro Baru B	WIM_Bridge Pusjatan_2017	1	12.56	3	100	1.2-2	168.53	31.77	70.39	66.37				11.02	3.14	7.88				29.72
2017-08-01-00-01-46-658	Jembatan Pawiro Baru B	WIM_Bridge Pusjatan_2017	1	14.95	3	51	1.22	243.16	50.77	96.19	96.19				7.30	5.78	1.52				29.72
2017-08-01-00-01-50-552	Jembatan Pawiro Baru B	WIM_Bridge Pusjatan_2017	1	13.65	3	51	1.22	115.98	37.64	39.17	39.17				5.41	3.97	1.44				29.72
2017-08-01-00-02-02-576	Jembatan Pawiro Baru B	WIM_Bridge Pusjatan_2017	1	11.84	4	62	1.2-22	238.58	43.76	59.75	67.54	67.54			8.88	3.51	4.05	1.32			29.73
2017-08-01-00-02-04-539	Jembatan Pawiro Baru B	WIM_Bridge Pusjatan_2017	2	17.07	2	40	1.2	146.37	47.19	99.19					6.13	6.13					29.73
2017-08-01-00-02-10-570	Jembatan Pawiro Baru B	WIM_Bridge Pusjatan_2017	2	13.65	2	40	1.2	105.36	42.67	62.69					5.47	5.47					29.73
2017-08-01-00-02-16-134	Jembatan Pawiro Baru B	WIM_Bridge Pusjatan_2017	1	14.12	2	30	1.1	131.42	23.96	107.46					3.37	3.37					29.73
2017-08-01-00-02-20-910	Jembatan Pawiro Baru B	WIM_Bridge Pusjatan_2017	2	8.71	6	120	1.22-222	508.85	50.31	102.08	102.08	84.80	84.80	84.80	14.33	3.42	1.38	6.76	1.38	1.40	29.74
2017-08-01-00-02-25-343	Jembatan Pawiro Baru B	WIM_Bridge Pusjatan_2017	2	8.53	6	120	1.22-222	503.45	40.42	113.44	113.44	78.72	78.72	78.72	14.45	3.50	1.33	6.85	1.40	1.37	29.74

TP: total panjang dari sumbu satu ke sumbu terakhir, AX: jarak dari sumbu ke-x ke sumbu berikutnya (contoh: A1 = jarak sumbu 1 ke sumbu 2),  
GVW: Berat total kendaraan, AXT: berat sumbu ke-x (contoh: A1T = berat sumbu 1), V: kecepatan kendaraan, T: Temperatur struktur

## Lampiran C (informatif)

### Jenis sensor penimbangan beban kendaraan metode dinamis

Seluruh alat penimbang kendaraan yang saat ini menggunakan sensor tekanan roda kendaraan dibedakan menjadi beberapa tipe sebagai berikut.

1. sensor datar, dipasang di atas permukaan perkerasan jalan, seperti *capacitance pad*, *piezo electric*, dan *load cell* pada *weigh scale*;
2. sensor ukuran kecil, dipasang dalam perkerasan jalan seperti *fiber-optic*, *piezo cable*, dan *piezo quartz*;
3. sensor ukuran besar, dipasang dalam perkerasan jalan seperti *bending plates* dan *hydraulic load cell*;
4. transduser regangan, dipasang pada struktur jembatan, yaitu *WIM bridge*

Karakteristik kemampuan, kemudahan pemasangan, biaya yang diperlukan, serta pertimbangan lainnya untuk setiap tipe sensor diuraikan dalam Tabel C.

**Tabel C - Perbandingan karakteristik sensor dan alat timbang**

No	Tipe sensor	Kelebihan	Pertimbangan
1	<i>WIM Bridge</i>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tidak ada kontak langsung antara sensor dengan roda kendaraan, lebih tahan lama</li> <li>2. Pengolahan data sudah terotomatisasi</li> <li>3. Bisa dipantau secara langsung (<i>real time</i>) dengan media berbasis jaringan internet (daring)</li> <li>4. Tidak ada kesempatan kendaraan untuk menghindar karena kendaraan pasti melintasi jembatan</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tidak semua lokasi ruas jalan memiliki jembatan, khususnya yang memenuhi ketentuan teknis untuk <i>WIM bridge</i></li> <li>2. Akurasi dipengaruhi kondisi struktur jembatan itu sendiri, permukaan jalan di atas jembatan, dan jalan pendekat</li> </ol>
2	<i>Piezoceramic Cable</i>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mudah, pemasangan cepat jika dibandingkan dengan sistem WIM lainnya</li> <li>2. Umumnya lebih murah dari sistem WIM lainnya</li> <li>3. Banyak diproduksi</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sensitif terhadap perubahan temperatur</li> <li>2. Akurasi terganggu oleh struktur jalan</li> <li>3. Pemasangan memerlukan ketelitian</li> <li>4. Pemasangan yang murah dan mudah seringkali menyebabkan perubahan posisi dan menghasilkan penurunan akurasi pembacaan</li> </ol>
3	<i>Piezopolymer</i>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Termudah, pemasangan tercepat jika dibandingkan dengan sistem WIM yang lainnya</li> <li>2. Umumnya lebih murah dari sistem WIM lainnya</li> <li>3. Banyak diproduksi</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sensitif terhadap perubahan temperatur</li> <li>2. Akurasi terganggu oleh struktur jalan</li> <li>3. Pemasangan memerlukan ketelitian</li> <li>4. Pemasangan yang murah dan mudah seringkali menyebabkan perubahan posisi dan menghasilkan penurunan akurasi pembacaan</li> </ol>

**Tabel C - Perbandingan karakteristik sensor dan alat timbang (lanjutan)**

No	Tipe sensor	Kelebihan	Pertimbangan
4	<i>Piezoquartz</i>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Termudah, pemasangan tercepat jika dibandingkan dengan beberapa sistem WIM yang lainnya</li> <li>2. Lebih murah jika sensor digunakan untuk jangka waktu yang lama</li> <li>3. Sensor sangat akurat</li> <li>4. Sensor tidak sensitif terhadap temperatur</li> <li>5. Telah banyak dikembangkan</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Lebih mahal dari teknologi <i>piezo</i> yang lain</li> <li>2. Membutuhkan multisensor per lajur</li> <li>3. Membutuhkan perawatan lebih intensif</li> <li>4. Sensor tidak berumur panjang</li> <li>5. Akurasi dipengaruhi oleh struktur jalan</li> </ol>
5	<i>Bending Plate</i>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Frame</i> sensor terpisah dari struktur perkerasan</li> <li>2. Cocok terhadap semua jenis ban</li> <li>3. Biaya sedang</li> <li>4. Sensor tidak sensitif terhadap temperatur</li> <li>5. Teknologi telah tersebar</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pemasangan lebih lama jika dibandingkan dengan sistem <i>piezo</i></li> <li>2. Beberapa pernah mengalami kegagalan walaupun yang lainnya dapat digunakan dalam jangka waktu yang lama</li> </ol>
6	<i>Load Cell</i>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cocok terhadap semua jenis ban</li> <li>2. Seringkali dianggap sebagai teknologi WIM konvensional yang paling akurat</li> <li>3. Beberapa sistem dapat berumur panjang</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sistem WIM termahal</li> <li>2. Membutuhkan konstruksi yang rumit</li> <li>3. Biaya yang optimal jika dipasang dan dirawat untuk jangka waktu yang lama</li> </ol>
7	<i>Fiber Optic</i>	Teknologi baru	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Teknologi baru, belum teruji</li> <li>2. Belum didukung oleh pabrik</li> <li>3. Akurasi terpengaruh oleh struktur jalan</li> </ol>
8	<i>Multiple Sensor Systems (Piezo, Bending Plate)</i>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Penambahan sensor menambah akurasi, sementara yang lainnya tetap</li> <li>2. Performa sistem sedikit berkurang, jika satu sensor rusak, tetapi meningkatkan keandalan sistem</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Penambahan sensor meningkatkan resiko salah satu sensor rusak</li> <li>2. Sensor dalam jumlah banyak akan memakan waktu dan biaya lebih besar`</li> </ol>
9	<i>Capacitance Mats</i>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Biaya sensor murah</li> <li>2. <i>Frame</i> sensor terpisah dari struktur perkerasan</li> </ol>	Masih dalam tahap pengembangan

Sumber: (Transportation Research Board 2014) dan (Cestel, ZAG 2014)

## Bibliografi

- Akgül, Ferhat, dan Dan M. Frangopol. 2004. "Bridge Rating and Reliability Correlation: Comprehensive Study for Different Bridge Types." *Journal of Structural Engineering* 130 (July): 1063–74. doi:10.1061/(ASCE)0733-9445(2004)130:7(1063).
- Badan Standardisasi Nasional (2008), SNI ISO 9000-2008 Kosa-kata
- Pedoman No: 004/BM/2006 Pedoman Pelaksanaan Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) untuk Konstruksi Jalan dan Jembatan
- Cestel, ZAG. 2014. *SiWIM Manual*. Ljubljana: Cestel.
- Laboratoire Central des Ponts et Chaussees. 2002. *COST 323 Weigh-in-Motion of Road Vehicles: Final Report (1993-1998)*. Research Report, Paris: Laboratoire Central des Ponts et Chaussees.
- Nugraha, Widi, dan Gatot Sukmara. 2016. *WIM Bridge: Ujicoba Model Fisik Teknologi Pengukuran Beban Kendaraan Bergerak menggunakan Jembatan Terinstrumentasi*. Bandung: Puslitbang Jalan dan Jembatan, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- RS Geospatial. 2017. "What Does IP67 Mean." *RS Geospatial: Expert GIS Knowledge Web Site*. 1 November. <http://www.resourcesupplyllc.com/PDFs/WhatDoesIP67Mean.pdf>.
- Transportation Research Board. 2014. *NCHRP Report 509 Equipment for Collecting Traffic Load Data*. Washington, D.C.: Transportation Research Board.

## Daftar nama dan lembaga

### 1. Pemrakarsa

Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan, Badan Penelitian dan Pengembangan, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat

### 2. Penyusun

Nama	Lembaga
Widi Nugraha, S.T., M.T.	Pusat Litbang Jalan dan Jembatan
Gatot Sukmara, S.T., M.T.	Pusat Litbang Jalan dan Jembatan