



**REPUBLIK INDONESIA**  
**KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT**  
**DIREKTORAT JENDERAL BINA MARGA**

**SPESIFIKASI KHUSUS INTERIM**



**SISTEM MONITORING KESEHATAN STRUKTUR (MKS) JEMBATAN**  
**Skh-1.7.42**

**2020**





**KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT**  
**DIREKTORAT JENDERAL BINA MARGA**

Jalan Pattimura No. 20, Kebayoran Baru - Jakarta Selatan 12110, Telp./Fax. : (021) : (021) 7221950

Nomor : : BM 0502-DB/10

Jakarta, 06 Januari 2020

Sifat : Biasa

Lampiran : 1 (satu) Dokumen

Hal : Persetujuan Spesifikasi Khusus Interim Sistem  
Monitoring Kesehatan Struktur (MKS) Jembatan

Yth.:

3. Para Direktur di Lingkungan Direktorat Jenderal Bina Marga;
  4. Kepala Balai/Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional I s.d. XXII
- di-

Tempat

3. Bersama ini disampaikan Spesifikasi Khusus sebagai berikut :

No.	Nomor Seksi	Judul Spesifikasi Khusus Interim
1	SKh-1.7.42	Sistem Monitoring Kesehatan Struktur (MKS) Jembatan

4. Spesifikasi Khusus Interim tersebut disetujui untuk dipergunakan di lingkungan Direktorat Jenderal Bina Marga, dan dimaksudkan untuk menjadi acuan bagi para pemangku kepentingan di lingkungan Direktorat Jenderal Bina Marga dalam pelaksanaan Sistem Monitoring Kesehatan Struktur (MKS) Jembatan.

Demikian disampaikan untuk dapat dipergunakan dengan penuh tanggung jawab.

**DIREKTUR JENDERAL BINA MARGA**

**Ir. Sugiyartanto, MT.**  
**NIP. 19611122 199103 1 002**

Tembusan Yth.:

1. Bapak Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (sebagai laporan);
2. Sekretaris Jenderal Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat;
3. Inspektur Jenderal Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan
4. Direktur Jenderal Bina Konstruksi, Kementerian PUPR;
5. Kepala Badan Penelitian dan Pengembangan, Kementerian PUPR.

## **SPESIFIKASI KHUSUS INTERIM**

### **SEKSI SKh-1.7.42**

#### **SISTEM MONITORING KESEHATAN STRUKTUR (MKS) JEMBATAN**

##### **SKh-1.7.42.1      UMUM**

###### **1) Uraian**

- a) MKS Jembatan adalah pelacakan berbagai aspek kinerja dan integrasi struktur jembatan dalam kaitannya dengan sistem keamanan dan layanan.
- b) Sistem MKS Jembatan mencakup integrasi beberapa komponen pendukung, yaitu Unit Sensor, Unit Akuisisi Data, Unit Pengolahan Data, Unit Sistem Integrasi dan Ruang Monitoring.
- c) Setiap sensor menerima respon struktur jembatan yang dikonversi ke dalam besaran elektrik berupa data analog maupun digital sesuai tipe sensor yang ada dalam Spesifikasi ini.
- d) Setiap sensor terkoneksi secara langsung melalui kabel maupun nirkabel (*wireless*) ke Unit Akuisisi Data.
- e) Unit Akuisisi Data berfungsi untuk mengolah data dari sensor, baik data analog maupun data digital membentuk format data yang disesuaikan dengan kebutuhan Pusat Data dan Informasi (Pusdatin) Kementerian PUPR.
- f) Sensor dengan komunikasi kabel maupun komunikasi nirkabel memiliki unit data akuisisi yang berada di dalam panel sesuai dengan Gambar yang harus tahan beroperasi 24 jam setiap hari di lingkungan jembatan.
- g) Data hasil pengukuran dari semua sensor dikirimkan menuju Unit Akuisisi Data berupa komputer yang dilengkapi dengan *software* berstandar *Ole for Process Control Data Access* (OPC DA) sebelum dikirimkan ke Unit *Processing Data* menggunakan protokol utama.
- h) Unit Pengolahan Data berfungsi untuk mengolah data, menampilkan data, menyiapkan laporan sehingga sesuai dengan kebutuhan Pusdatin Kementerian PUPR dalam melakukan monitoring kesehatan struktur (MKS) jembatan.
- i) Unit Pengolahan Data berupa panel server yang diletakkan di ruang monitoring yang harus tahan beroperasi 24 jam setiap hari. Semua data diproses oleh *software* yang sudah terpasang pada Unit *Processing Data*. Data yang sudah diproses kemudian disimpan pada sistem *database*.
- j) Operator *workstation* berfungsi untuk menampilkan data pengukuran sensor yang telah diproses secara *real-time* dan *historical* melalui *web-based*.
- k) Data pengukuran masing-masing sensor yang telah tersimpan dalam Unit *Processing Data* dikirimkan dan disimpan pada server pusat di Pusdatin Kementerian PUPR menggunakan protokol MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*).
- l) Setiap sensor yang akan digunakan harus dibuktikan dengan sertifikat kalibrasi sesuai dengan kebutuhan dan standar yang berlaku. Apabila dianggap perlu, Pengawas Pekerjaan dapat meminta pengujian di Lembaga terakreditasi.

## 2) Unit Sensor

- a) Pekerjaan Unit Sensor mencakup pengadaan sensor-sensor dan material tambahannya sesuai dengan Spesifikasi ini, dipasang atau ditempatkan sesuai dengan Gambar, dan material sejenis sudah pernah digunakan dalam pekerjaan monitoring struktur lainnya serta berfungsi dengan baik.
- b) Setiap sensor yang akan digunakan harus memenuhi persyaratan *Factory Acceptance Test (FAT)*, *Site Acceptance Test (SAT)*, *Pre-commissioning Test* dan *Commissioning Test*.
- c) Material tambahan merupakan material pendukung yang dibutuhkan dalam pemasangan sensor sesuai dengan Gambar.
- d) *Sensor Accelerometer*
  - i) *Sensor Accelerometer* adalah sensor yang digunakan untuk mengukur vibrasi/getaran struktur jembatan.
  - ii) Parameter struktur yang diukur oleh sensor *Accelerometer* adalah frekuensi natural, *mode shape* pada dek jembatan melalui penggetaran struktur, serta lendutan pada jembatan melalui metode analisa *double* integrasi data percepatan.
- e) *Sensor Air Temperature*

*Sensor Air Temperature* adalah sensor yang digunakan untuk mengukur temperatur lingkungan area jembatan sehingga dapat diketahui pengaruh temperatur terhadap struktur jembatan.
- f) *Sensor Anemometer*

*Sensor Anemometer* adalah sensor yang digunakan untuk mengukur kecepatan dan arah angin di area jembatan.
- g) *Closed Circuit Television (CCTV)*
  - i) CCTV tipe 1 yaitu CCTV berfungsi untuk memonitor *visual event* seperti ketika terjadi gempa, kebakaran, angin kencang, kecelakaan, dan kejadian lainnya. Membantu pelaksanaan manajemen lalu lintas apabila terjadi kecelakaan lalu lintas atau kemacetan, dan kejadian lainnya. CCTV juga difungsikan untuk memonitor pergerakan kapal dibawah jembatan.
  - ii) CCTV tipe 2 yaitu CCTV dengan *software image processing* berfungsi untuk memonitor pergerakan lalu lintas kendaraan diatas jembatan.
  - iii) Prinsip kerja Sensor CCTV tipe 1 adalah memonitor pergerakan yang ada di jembatan baik itu lalu lintas kendaraan, lalu lintas kapal dan pergerakan manusia serta benda lainnya yang melewati diatas dek jembatan atau di bawah jembatan pada jalur pelayaran.
  - iv) Prinsip kerja Sensor CCTV tipe 2 adalah pengukuran parameter lalu lintas dilakukan melalui pengukuran pergerakan *pixel* terhadap *garis virtual loop* yang diatur pada *software Image Processing*.
- h) *Sensor Deflection Multi Meter (DMM)*

*Sensor DMM* berfungsi untuk mengukur gerakan perpindahan secara umum pada lantai jembatan, yaitu perubahan lendutan arah vertikal terhadap *baseline* struktur.
- i) *Sensor Elasto Magnetik (EM)*
  - i) *Sensor EM* berfungsi untuk mengukur gaya kabel.

- ii) Sensor EM menggunakan prinsip kerja *Linear Variable Differential Transformer* (LVDT) dengan memberikan eksitasi tegangan listrik pada kumparan primer sensor. Gerak respon *stay cable* akan mempengaruhi besarnya tegangan listrik yang dibangkitkan pada lilitan sekunder sensor. Pengukuran tegangan listrik pada lilitan sekunder merupakan representasi dari gaya yang terjadi pada *stay cable*.
- j) Global Positioning Satelit (GPS)
 

GPS (Rover dan Reference) berfungsi untuk mengukur gerakan perpindahan secara umum lantai jembatan maupun pilon, yaitu perubahan lendutan terhadap *baseline* struktur pada bidang koordinat 3 dimensi, dan posisi relatif jembatan pada koordinat bumi.
- k) Sensor *Joint Meter*

Sensor *Joint Meter* berfungsi untuk mengukur regangan atau kembang-susut struktur jembatan.
- l) Sensor *Load Cell*

Sensor *Load Cell* berfungsi untuk mengukur gaya kabel.
- m) Sensor Seismometer
 

Sensor Seismometer berfungsi untuk mengukur getaran gempa yang terjadi di sekitar jembatan.
- n) Sensor *Strain Gauge*
  - i) Sensor *Strain Gauge* berfungsi untuk mengukur regangan pada elemen struktur untuk dianalisis sehingga dapat diketahui gaya tekan dan tarik pada struktur.
  - ii) Prinsip kerja sensor *Strain Gauge* adalah karakteristik resistansi elektrik material sensor akan berubah proporsional terhadap gaya eksternal yang terjadi pada struktur beton dan baja.
  - iii) Sensor *Strain Gauge* di kegiatan ini terdiri dari 2 (dua) tipe atau jenis yaitu:
    1. Tipe SGI (*Strain Gauge Inner*) yang ditanam atau dipasang didalam struktur beton.
    2. Tipe SGO (*Strain Gauge Outer*) yang dipasang diluar struktur beton.
- o) Sensor Termometer
 

Sensor Thermometer berfungsi untuk mengukur suhu struktur jembatan yang dilekati sensor.
- p) Sensor Tiltmeter
 

Sensor *Tiltmeter* berfungsi untuk mengukur pergerakan struktur, baik secara lateral, axial maupun rotasi.
- q) Lampu Peringatan
  - i) Lampu peringatan berfungsi untuk pemberitahuan dini kepada pengguna jembatan akan kejadian yang dapat membahayakan keselamatan diri pengendara yang melintasi jembatan.
  - ii) Lampu peringatan bekerja berdasarkan parameter ambang batas (*threshold*) dari:
    1. Sensor Anemometer yang menunjukkan batas kecepatan angin maksimum yang aman bagi pengguna jembatan dan/atau,



2. Sensor *Accelerometer* dan/atau Seismometer yang menunjukkan batas getaran.

r) Kabel

- i) Kabel adalah kawat yang dapat menghantarkan arus listrik. Kabel juga digunakan sebagai penghubung yang dapat mentransmisikan sinyal dari sensor ke DAU dan antar sistem dalam MKS Jembatan.
- ii) Setiap kabel yang digunakan harus dilindungi dengan paralon untuk memperkecil kemungkinan pencurian material.
- iii) Material tambahan merupakan material pendukung dalam pekerjaan pengadaan kabel.

### 3) Unit Akuisisi Data

a) Pekerjaan Unit Akuisisi Data mencakup pengadaan Data Acquisition Unit (DAU)/Data Acquisition System (DAQ) atau *Wireless Sensor Node* (WSN) *Gateway* dan material tambahannya sesuai dengan Spesifikasi ini, dipasang atau ditempatkan sesuai dengan Gambar, dan material sejenis sudah pernah digunakan dalam pekerjaan monitoring struktur lainnya serta berfungsi dengan baik.

b) DAU/DAQ

- i) DAU adalah peralatan akuisisi data yang digunakan untuk memberikan eksitasi, menerima, menterjemahkan dan mengirimkan data dari semua sensor ke Ruang Monitoring.
- ii) DAU berfungsi untuk mengumpulkan data data dari seluruh sensor yang ada ke Ruang Monitoring dan mensinkronisasikan *clock* secara global.
- iii) *Interface module* adalah peralatan yang berfungsi untuk mengkonversi sinyal data analog dari sensor menjadi sinyal data digital yang kemudian akan dikirimkan ke *Test Controller*.
- iv) *Test Controller* adalah peralatan yang berfungsi untuk mengontrol transmisi sinyal–sinyal data digital dari *Interface Module* ke *software* data akuisisi pada server.

c) WSN *Gateway*

WSN *Gateway* adalah perangkat yang menerima paket data pengukuran dari WSN untuk selanjutnya meneruskan paket data pengukuran menuju DAU atau Ruang Monitoring.

### 4) Unit Sistem Integrasi

- a) Pekerjaan Unit Sistem Integrasi mencakup pengadaan dan pemasangan Unit Pengolahan Data dan *Networking* sesuai dengan Spesifikasi ini, dipasang atau ditempatkan sesuai dengan Gambar dan sudah pernah digunakan dalam pekerjaan monitoring struktur lainnya serta berfungsi dengan baik.
- b) Unit Pengolahan Data adalah *server* yang melakukan pekerjaan pengolahan seluruh data yang didapat dari semua sensor.
- c) *Networking* adalah perangkat yang menghubungkan perangkat Unit Pengolahan Data sehingga saling terhubung membentuk jaringan komputer (*Local Area Network/LAN*).

- d) Integrasi sistem bertujuan untuk menggabungkan atau menghubungkan semua sistem yang dibangun secara individual menjadi satu kesatuan sistem yang saling terkoneksi atau terhubung sesuai dengan kebutuhan pekerjaan MKS Jembatan.
- e) *Software*/perangkat lunak untuk integrasi sistem harus mencakup dan memproses seluruh data dari keseluruhan sensor yang terpasang pada suatu jembatan yang dioperasikan dalam satu sistem MKS Jembatan. *Software* harus berbasis *open source* dan *web-based* serta Penyedia Jasa harus menyerahkan bahasa program (*source code*) *software* tersebut.
- f) Data hasil pengukuran sensor (*raw data*) harus dapat diakses secara luring (*offline*) dan disimpan pada server lokal jembatan.
- g) Pengiriman data hasil pengukuran sensor ke Pusdatin Kementerian PUPR harus diolah terlebih dahulu dalam bentuk *output* sistem MKS Jembatan sesuai desain rencana.

#### 5) Ruang Monitoring

Pekerjaan Ruang Monitoring mencakup pengadaan ruang monitoring sebagai tempat dimana perangkat keras (*hardware*) yang dibutuhkan dioperasikan dalam rangka pemantauan kondisi jembatan, dipasang atau ditempatkan sesuai dengan Gambar.

#### 6) Pekerjaan Seksi Lain Yang Berkaitan dengan Seksi Ini

- a) Mobilisasi : Seksi 1.2
- b) Manajemen dan Keselamatan Lalu Lintas : Seksi 1.8
- c) Bahan dan Penyimpanan : Seksi 1.11
- d) Jadwal Pelaksanaan : Seksi 1.12
- e) Pengamanan Lingkungan Hidup : Seksi 1.17
- f) Keselamatan dan Kesehatan Kerja : Seksi 1.19
- g) Manajemen Mutu : Seksi 1.21
- h) Beton dan Beton Kinerja Tinggi : Seksi 7.1

#### 7) Standar Rujukan

Standar Nasional Indonesia (SNI):

- SNI 0225:2011/Amd1:2013 : Persyaratan Umum Pemasangan Listrik 2011 (PUIL 2011) Amandemen 1
- SNI 0225:2011/Amd3:2014 : Persyaratan Umum Pemasangan Listrik 2011 (PUIL 2011) Amandemen 3 (IEC 60364-5-54:2011, MOD)
- SNI 0225:2011/Amd4:2015 : Persyaratan Umum Pemasangan Listrik 2011 (PUIL 2011) Amandemen 4 (IEC 60364-5-55:2012, MOD)
- SNI 0225:2011/Amd5:2016 : Persyaratan Umum Pemasangan Listrik 2011 (PUIL 2011) Amandemen 5 (IEC 60364-5-56:2009, MOD)

SNI 0225:2011/Amd6:2016 : Persyaratan Umum Pemasangan Listrik 2011 (PUIL 2011) Amandemen 6 (IEC 60364-4-42:2010 dan Amd 1:2014, MOD)

American Concrete Institute (ACI):

ACI 308R-01 (2008) : *Guide to Curing Concrete*  
ACI 306.1-90 : *Standard Specification for Cold Weather Concreting*  
ACI 305.1-06 : *Specification for Hot Weather Curing*

American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE):

ASHRAE TC9.9 : *Data Center Power Equipment Thermal Guidelines and Best Practices*

American Society for Testing and Materials (ASTM):

ASTM C192/C192M – 16 : *Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory*  
ASTM C31/C31M – 08b : *Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimen in the Field*  
ASTM E1237-93(2014) : *Standard Guide for Installing Bonded Resistance Strain Gages*  
ASTM E251-92(2014) : *Standard Test Methods for Performance Characteristics of Metallic Bonded Resistance Load Cell*

European Norm (EN):

EN 1991-1-4:2005+A1 : *European Standard: Eurocode 1: Actions on Structures – Part 1-4: General Actions – Wind Actions.*

Federal Aviation Administration (FAA):

DOT-VNTSC-FAA-09-08 : *GPS Civil Monitoring Performance Specification.*

Federal Highway Administration Research and Development (FHWA):

FHWA : *Development of a Modal Health Monitoring Guide for Major Bridge*

Goubiao (GB):

GB/T 7665-2005 : *General Terminology for Transducers*  
GB 7666-87 : *Nomenclature and Code for Transducers/Sensor*  
GBJ131-90 : *Standard for Quality Inspection and Assessment of Installation Works for Automatic Instruments*

International Organization for Standardization (ISO):

ISO 4866: 2010 : *Mechanical Vibration and Shock – Vibration of Fixed Structures – Guidelines for The Measurement of Vibrations and Evaluation of Their Effects on Structures*  
ISO 18674-1: 2015 : *Geotechnical investigation and testing – Geotechnical Monitoring by field instrumentation – Part 1: General rules*



ISO 18674-2: 2016 : *Geotechnical investigation and testing – Geotechnical Monitoring by field instrumentation – Part 2: Measurement of displacements along a line: extensometers*

ISO 18674-3: 2017 : *Geotechnical investigation and testing – Geotechnical Monitoring by field instrumentation – Part 3: Measurement of displacements across a line: inclinometers*

Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE):

IEEE 802.11 – 2016 : *IEEE Standard for Information technology-- Telecommunications and information exchange between systems Local and metropolitan area network--Specific requirements--Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications.*

IEEE 802.15.4e – 2012 : *IEEE Standard for Local and metropolitan area networks--Part 15.4: Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs) Amendment 1: MAC sublayer.*

Institute of Radio Engineers (IRE):

IRE-TR-006/ST/2011 : *Sistem Monitoring Kesehatan Struktur – Penilaian Kondisi dan Kriteria Peralatan Monitoring.*

Intelligent Sensing for Innovative Structures (ISIS):

ISIS Canada : *Guidelines for Structural Health Monitoring, Design Manual No. 2.*

Molecular Diversity Preservation International and Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI):

MDPI Journal : *Calibration of Elasto Magnetic Sensors in-service Cable Stayed Bridges for Stress Monitoring.*

National Weather Service (NWS):

NWS 97-4 : *An Overview of National Weather Service Quantitative Precipitation Estimates.*

Peraturan Menteri:

Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor 49 Tahun 2014 tentang Alat Pemberi Isyarat Lalu Lintas.

Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 02/PRT/M/2018 tentang Perubahan Atas Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 05/PRT/M/2014 tentang Pedoman Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3) Konstruksi Bidang Pekerjaan Umum.

Surat Edaran:

Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat No. 24/SE/M/2015: Pedoman Perencanaan Sistem Monitoring Kesehatan Struktur Jembatan.

Undang-Undang:

Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2009 tentang Lalu Lintas Dan Angkutan Jalan.

Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2017 tentang Jasa Konstruksi.

United States Bureau of Reclamation (USBR):

USBR 1008-89 : *Procedure for Calibrating Linear Variable Differential Transformers.*

World Meteorological Organization (WMO):

WMO No. 8 : *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation.*

#### 8) Pengajuan Kesiapan Kerja

Sebelum melakukan pekerjaan pemasangan unit sensor/unit akuisisi data/unit pengolahan data/unit sistem integrasi/ruang monitoring, Penyedia Jasa harus mengajukan kepada Pengawas Pekerjaan hal-hal sebagai berikut:

- a) Jadwal pelaksanaan pekerjaan pemasangan unit sensor/unit akuisisi data/unit pengolahan data/unit sistem integrasi/ruang monitoring.
- b) Rincian metode pelaksanaan pemasangan unit sensor/unit akuisisi data/unit pengolahan data/unit sistem integrasi/ruang monitoring termasuk peralatan yang digunakan.

Persetujuan tertulis dari Pengawas Pekerjaan untuk pengajuan pekerjaan di atas, harus diperoleh terlebih dahulu sebelum memulai setiap pekerjaan pemasangan.

### **SKh-1.7.42.2 PERALATAN DAN BAHAN**

#### 1) Umum

- a) Seluruh bahan/material yang dibutuhkan dalam penyelesaian pekerjaan, seperti sensor, material tambahan sensor dan peralatan lainnya, harus dalam kondisi baru serta berfungsi dengan baik.
- b) Setiap keterangan mengenai peralatan, bahan/material, barang atau proses yang dipatenkan dalam bentuk nama dagang, buatan atau nomor katalog, tidak boleh ditafsirkan sebagai upaya membatasi persaingan.
- c) Sebelum membeli bahan atau barang-barang manufaktur yang termasuk dalam pekerjaan tetap, Penyedia Jasa harus menyampaikan daftar bahan/material atau barang manufaktur yang akan dibeli dan daftar nama perusahaan yang mensuplainya serta *mill certificate* dan apabila diperlukan, contoh benda (sampel) bahan/material atau barang-barang manufaktur tersebut kepada Pengawas Pekerjaan sebagaimana yang disyaratkan dalam Seksi 1.11 dari Spesifikasi Umum.

#### 2) Penyimpanan Bahan

- a) Bahan harus disimpan sedemikian rupa sehingga mutunya terjamin dan terpelihara serta siap dipergunakan untuk Pekerjaan. Bahan yang disimpan harus ditempatkan sedemikian rupa sehingga selalu siap pakai, dan mudah diperiksa oleh Pengawas Pekerjaan, serta tidak mengakibatkan penurunan kualitas lingkungan sekitar dan penurunan keamanan sekitar. Tanah dan bangunan (*property*) orang lain tidak boleh dipakai tanpa izin tertulis dari pemilik atau penyewanya.

- b) Tempat penyimpanan bahan merupakan bangunan tertutup yang aman dari pengaruh air hujan maupun angin. Bagian dalam tempat penyimpanan harus dibersihkan (*clearing*) dan diratakan (*levelling*).
- c) Lapangan (*site*) berarti tempat pekerjaan permanen akan dilaksanakan termasuk tempat penyimpanan dan tempat kerja dimana bahan dan peralatan instalasi (diluar peralatan konstruksi) didatangkan dan/atau disimpan, serta setiap tempat lain yang disebutkan dalam Kontrak yang merupakan bagian dari Lapangan.
- d) Bahan/material yang berupa elektronik seperti sensor harus disimpan pada tempat yang aman dari resiko jatuh atau terinjak atau terkena bahan/material lain atau peralatan kerja dan tertutup seperti lemari.

3) Tempat Kerja (*Working Area*), Jalan Sementara, Bangunan dan Keperluan Lainnya

- a) Penyedia Jasa harus melakukan segala tata cara, termasuk pembayaran apabila diperlukan, untuk memakai bidang tanah yang dibutuhkan di luar Rumija, dan Pengawas Pekerjaan tidak bertanggung jawab atas pemakaian tanah tersebut sebagaimana disyaratkan dalam Pasal 1.1.4.2) dari Spesifikasi Umum.
- b) Penyedia Jasa harus memilih, menata dan bila perlu membayar atas pemakaian bidang tanah untuk jalan sementara, bangunan tempat pengolahan beton dan material lainnya, tempat penyimpanan peralatan, bangunan Kantor, rumah tinggal, atau keperluan lain selama pelaksanaan kerja. Tanah milik Pemerintah atau milik pribadi, sebelum dipakai untuk keperluan pelaksanaan proyek, harus mendapat ijin tertulis terlebih dahulu dan disetujui oleh Pengawas Pekerjaan.
- c) Bila bangunan utilitas air, listrik, drainase dan lain-lain yang melewati tempat kerja terganggu saat pelaksanaan pekerjaan, maka Penyedia Jasa harus memilih alternatif terbaik sesuai dengan peraturan yang berlaku.
- d) Bila pelaksanaan pemasangan telah selesai, semua bangunan dan rintangan lainnya harus dibereskan dan dibersihkan. Segala kerusakan yang terjadi saat pelaksanaan pekerjaan harus diperbaiki dan apabila diperlukan, pemilik tanah dibayar sebagai bentuk ganti rugi kerusakan tersebut.

4) Rumah/Barak Pekerja dan Gudang

Penyedia Jasa harus menyediakan dan memelihara rumah-rumah/barak-barak untuk pekerja dan gudang-gudang penyimpanan yang diperlukan selama pelaksanaan pekerjaan. Penyediaan dan pemeliharaan dan gudang-gudang tersebut dibayar menurut Seksi 1.2 dari Spesifikasi Umum.

5) Factory Acceptance Test (FAT), Site Acceptance Test (SAT), Pre-Commissioning Test dan Commissioning Test

a) FAT

- i) FAT dilaksanakan di pabrik atau di fasilitas *workshop* yang berperan sebagai integrator dari perusahaan Penyedia Jasa. FAT dilakukan pada material sensor, data *logger*, komputer, *power supply* dan *software* yang dikalibrasi dengan menyerahkan bukti sertifikat hasil kalibrasi yang masih berlaku.
- ii) Penyedia Jasa harus menyerahkan jadwal pelaksanaan dan prosedur FAT kepada Pengawas Pekerjaan sebelum FAT dilaksanakan dan harus

mendapat persetujuan Pengawas Pekerjaan. Apabila diperlukan, supervisi dapat dilakukan dengan mengadakan kunjungan ke produsen sensor.

- iii) Pelaksanaan FAT harus sesuai dengan peraturan yang berlaku.
- iv) Penyedia Jasa bertanggung jawab terhadap seluruh pekerjaan FAT.

b) SAT

- i) SAT atau pengujian material di lapangan dimaksudkan untuk membuktikan bahwa material yang akan dipasang dalam kondisi baik dan dapat beroperasi sesuai dengan kebutuhan MKS Jembatan yang tertuang dalam Spesifikasi ini. SAT dilakukan pada material sensor, data *logger*, komputer, dan *power supply*.
- ii) SAT dilakukan setelah masing-masing material tiba di lokasi dan sebelum dipasang. *Output* pengujian ini harus membuktikan bahwa sensor dapat mengeluarkan *raw data* sensor.
- iii) Penyedia Jasa harus menyerahkan jadwal pelaksanaan dan prosedur SAT kepada Pengawas Pekerjaan sebelum SAT dilaksanakan dan harus mendapat persetujuan Pengawas Pekerjaan.
- iv) Penyedia Jasa juga harus menyerahkan persyaratan-persyaratan berikut:
  - 1. Jaminan bahwa barang tersebut asli dan baru.
  - 2. Jaminan ketersediaan suku cadang selama waktu tertentu.
  - 3. Cara melakukan klaim apabila ada kerusakan/sensor tidak berfungsi setelah masa pemeliharaan Penyedia Jasa berakhir (ketersediaan alat dan kontak yang dapat dihubungi).
- v) Penyedia Jasa harus menyediakan unit *portable* sejenis dengan sensor untuk verifikasi *output* dari sensor yang akan dipasang.
- vi) Penyedia Jasa bertanggung jawab terhadap seluruh pekerjaan SAT.

c) Pre-commissioning Test

- i) *Pre-commissioning test* dilakukan pada setiap sensor secara sub sistem, dimana sub sistem yang dimaksud adalah pengecekan secara langsung beberapa sensor yang terpasang mampu terintegrasi dengan perangkat lunak sistem integrasi, untuk membuktikan bahwa sensor berfungsi dengan baik dan benar.
- ii) Penyedia Jasa harus menyerahkan jadwal pelaksanaan dan prosedur *Pre-commissioning test* kepada Pengawas Pekerjaan sebelum *Pre-commissioning test* dilaksanakan dan harus mendapat persetujuan Pengawas Pekerjaan.
- iii) Penyedia Jasa harus menyediakan unit *portable* sejenis dengan sensor untuk verifikasi *output* dari sensor yang dipasang dalam sub sistem dengan tingkat akurasi sesuai spesifikasi masing-masing sensor.
- iv) Penyedia Jasa bertanggung jawab terhadap seluruh pekerjaan *Pre-commissioning test*.

d) Commissioning Test

- i) *Commissioning test* dilakukan setelah *Pre-commissioning test* dan sebelum Serah Terima Pekerjaan Pertama (PHO) untuk membuktikan bahwa sensor mampu bekerja dengan baik dalam sistem yang terintegrasi dan mampu mengeluarkan data sesuai kebutuhan Pusdatin Kementerian PUPR serta terhubung dengan Integrasi Monitoring Kesehatan Jembatan (IMKJ) di Sub Direktorat Pemantauan dan Evaluasi, Direktorat Jembatan.
- ii) Penyedia Jasa wajib memberikan jadwal pelaksanaan dan prosedur *Commissioning test* kepada Pengawas Pekerjaan sebelum *Commissioning test* dilaksanakan dan harus mendapat persetujuan Pengawas Pekerjaan.
- iii) Penyedia Jasa bertanggung jawab terhadap seluruh pekerjaan *Commissioning test*.

6) Sensor Accelerometer

a) Ketentuan Sensor Accelerometer

- i) Durasi setiap pengukuran sensor *Accelerometer* minimal 30 detik.
- ii) Penjumlahan data sensor *Accelerometer* dilakukan sesuai desain rencana dan dapat diatur dari Pusdatin Kementerian PUPR (*adjustable sampling measurement*).
- iii) Sensor *Accelerometer* harus mampu melakukan penjumlahan data saat *threshold* getaran/vibrasi atau *threshold* sensor lain terlampaui melalui perangkat lunak (*software*) dalam integrasi sistem.
- iv) Bahan sensor *Accelerometer* harus tahan terhadap pengaruh suhu, angin, hujan, dan laut di lingkungan jembatan.
- v) Sensor *Accelerometer* yang digunakan harus memenuhi ketentuan pada Tabel 7.42.1) sampai Tabel 7.42.4).

Tabel 7.42.1) Ketentuan sensor *Accelerometer* 2-axis tipe komunikasi kabel

No.	Uraian	Ketentuan
<b>A.</b>	<b>Ketentuan Accelerometer</b>	
1.	<i>Range of measurement</i>	Min. $\pm 2$ G
2.	<i>Frequency response</i>	0 sampai 800 Hz
<b>B.</b>	<b>Ketentuan Node</b>	
3.	<i>Resolution</i>	Maks. 10 mG
4.	<i>Sampling rate</i>	Min. 100 data per detik
5.	<i>Noise density</i>	Maks. 50 $\mu\text{g}$ per $\sqrt{\text{Hz}}$
<b>C.</b>	<b>Ketentuan Sinkronisasi</b>	
6.	<i>Delay synchronization</i>	Maks. 50 $\mu\text{s}$
<b>D.</b>	<b>Ketentuan Environmental dan Mechanical</b>	
7.	<i>Operating temperature</i>	Min. 0 °C sampai +65 °C
8.	<i>Water and dust resistance</i>	Min. <i>Ingress Protection</i> (IP) 65
<b>E.</b>	<b>Ketentuan Usia Sensor</b>	
9.	<i>Life-time</i>	Min. 5 tahun



Tabel 7.42.2) Ketentuan sensor *Accelerometer* 2-axis tipe komunikasi *wireless*

No.	Uraian	Ketentuan
<b>A.</b>	<b>Ketentuan <i>Accelerometer</i></b>	
1.	<i>Range of measurement</i>	Min. $\pm 2$ G
2.	<i>Frequency response</i>	0 sampai 800 Hz
<b>B.</b>	<b>Ketentuan <i>Node</i></b>	
3.	<i>Resolution</i>	Maks. 10 mG
4.	<i>Sampling rate</i>	Min. 100 data per detik
5.	<i>Noise density</i>	Maks. 50 $\mu\text{g}$ per $\sqrt{\text{Hz}}$
6.	<i>Wireless protocol stack</i>	IEEE 802.11 atau IEEE 802.15
<b>C.</b>	<b>Ketentuan Sinkronisasi</b>	
7.	<i>Delay synchronization</i>	Maks. 50 $\mu\text{S}$
<b>D.</b>	<b>Ketentuan <i>Environmental</i> dan <i>Mechanical</i></b>	
8.	<i>Operating temperature</i>	Min. 0 °C sampai +65 °C
9.	<i>Water and dust resistance</i>	Min. <i>Ingress Protection</i> (IP) 65
<b>E.</b>	<b>Ketentuan Usia Sensor</b>	
10.	<i>Life-time</i>	Min. 5 tahun

Tabel 7.42.3) Ketentuan sensor *Accelerometer* 3-axis tipe komunikasi kabel

No.	Uraian	Ketentuan
<b>A.</b>	<b>Ketentuan <i>Accelerometer</i></b>	
1.	<i>Range of measurement</i>	Min. $\pm 2$ G
2.	<i>Frequency response</i>	0 sampai 800 Hz
<b>B.</b>	<b>Ketentuan <i>Node</i></b>	
3.	<i>Resolution</i>	Maks. 10 mG
4.	<i>Sampling rate</i>	Min. 100 data per detik
5.	<i>Noise density</i>	Maks. 50 $\mu\text{g}$ per $\sqrt{\text{Hz}}$
<b>C.</b>	<b>Ketentuan Sinkronisasi</b>	
6.	<i>Delay synchronization</i>	Maks. 50 $\mu\text{S}$
<b>D.</b>	<b>Ketentuan <i>Environmental</i> dan <i>Mechanical</i></b>	
7.	<i>Operating temperature</i>	Min. 0 °C sampai +65 °C
8.	<i>Water and dust resistance</i>	Min. <i>Ingress Protection</i> (IP) 65
<b>E.</b>	<b>Ketentuan Usia Sensor</b>	
9.	<i>Life-time</i>	Min. 5 tahun

Tabel 7.42.4) Ketentuan sensor *Accelerometer* 3-axis tipe komunikasi *wireless*

No.	Uraian	Ketentuan
<b>A.</b>	<b>Ketentuan <i>Accelerometer</i></b>	
1.	<i>Range of measurement</i>	Min. $\pm 2$ G
2.	<i>Frequency response</i>	0 sampai 800 Hz
<b>B.</b>	<b>Ketentuan <i>Node</i></b>	
3.	<i>Resolution</i>	Maks. 10 mG
4.	<i>Sampling rate</i>	Min. 100 data per detik
5.	<i>Noise density</i>	Maks. 50 $\mu\text{g}$ per $\sqrt{\text{Hz}}$
6.	<i>Wireless protocol stack</i>	IEEE 802.11 atau IEEE 802.15
<b>C.</b>	<b>Ketentuan Sinkronisasi</b>	
7.	<i>Delay synchronization</i>	Maks. 50 $\mu\text{S}$

No.	Uraian	Ketentuan
<b>D.</b>	<b>Ketentuan <i>Environmental</i> dan <i>Mechanical</i></b>	
8.	<i>Operating temperature</i>	Min. 0 °C sampai +65 °C
9.	<i>Water and dust resistance</i>	Min. <i>Ingress Protection</i> (IP) 65
<b>E.</b>	<b>Ketentuan Usia Sensor</b>	
10.	<i>Life-time</i>	Min. 5 tahun

b) Ketentuan Material Tambahan Sensor *Accelerometer*

Material tambahan mencakup *Perekat Accelerometer Mount Block*, *Accelerometer Mount Block*, *Bolt*, Klem, dan Kabel

i) *Perekat Accelerometer Mount Block*

1. *Perekat Accelerometer Mount Block* digunakan untuk merekatkan *Accelerometer Mount Block* pada struktur jembatan.
2. Perekat yang digunakan harus mampu merekatkan *Accelerometer Mount Block* ke struktur jembatan.
3. Tipe perekat yang digunakan adalah *epoxy metal* atau *epoxy concrete*.

ii) *Accelerometer Mount Block*

*Accelerometer Mount Block* dipasang pada struktur jembatan dengan menggunakan perekat *epoxy metal* atau *epoxy concrete* dan digunakan untuk dudukan sensor *Accelerometer*.

iii) *Bolt*

*Bolt* dapat digunakan sebagai alternatif pengganti perekat *Accelerometer Mount Block*, namun penggunaannya dibatasi yaitu pada lokasi dimana struktur bukan berupa struktur baja dan/atau struktur beton pratekan. Penggunaan sambungan dengan *bolt* harus mendapat persetujuan tertulis dari Pengawas Pekerjaan.

iv) Klem

Klem dapat digunakan sebagai alternatif pengganti perekat *Accelerometer Mount Block*, namun penggunaannya dibatasi yaitu pada lokasi dimana struktur berupa struktur baja. Penggunaan sambungan dengan klem harus mendapat persetujuan tertulis dari Pengawas Pekerjaan.

v) Kabel

Kabel dibutuhkan untuk menghubungkan dari sensor *Accelerometer* tipe komunikasi kabel ke Ruang Monitoring. Ketentuan kabel harus sesuai dengan Spesifikasi ini.

7) Sensor *Air Temperature*

a) Ketentuan Sensor *Air Temperature*

- i) Penjumlahan data sensor *Air Temperature* dilakukan sesuai desain rencana dan dapat diatur dari Pusdatin Kementerian PUPR (*adjustable sampling measurement*).
- ii) Bahan sensor *Air Temperature* harus tahan terhadap pengaruh suhu, angin, hujan, dan laut di lingkungan jembatan.
- iii) Sensor *Air Temperature* yang digunakan harus memenuhi ketentuan pada Tabel 7.42.5) sampai Tabel 7.42.6).

Tabel 7.42.5) Ketentuan sensor *Air Temperature* tipe komunikasi kabel

No.	Uraian	Ketentuan
<b>A.</b>	<b>Ketentuan Sensor <i>Temperature</i></b>	
1.	<i>Range of measurement</i>	Min. 0 °C sampai +65 °C
2.	<i>Measurement accuracy</i>	Maks. $\pm 0,5$ °C
3.	<i>Resolution</i>	Maks. 0,1 °C
4.	<i>Response time</i>	Min. 10 detik
<b>B.</b>	<b>Ketentuan Sensor <i>Humidity</i></b>	
5.	<i>Range of measurement</i>	Min. 0% RH sampai 100% RH
6.	<i>Measurement accuracy</i>	Maks. $\pm 2\%$ RH
7.	<i>Resolution</i>	Maks. 0,1% RH
8.	<i>Response time</i>	Min. 10 detik
<b>C.</b>	<b>Ketentuan Node</b>	
9.	<i>Sampling rate</i>	Min. 1 data per menit
<b>D.</b>	<b>Ketentuan Sinkronisasi</b>	
10.	<i>Delay synchronization</i>	Maks. 50 $\mu$ S
<b>E.</b>	<b>Ketentuan <i>Environmental</i> dan <i>Mechanical</i></b>	
11.	<i>Operating temperature</i>	Min. 0 °C sampai +65 °C
12.	<i>Water and dust resistance</i>	Min. <i>Ingress Protection</i> (IP) 65
<b>F.</b>	<b>Ketentuan Usia Sensor</b>	
13.	<i>Life-time</i>	Min. 5 tahun

Tabel 7.42.6) Ketentuan sensor *Air Temperature* tipe komunikasi *wireless*

No.	Uraian	Ketentuan
<b>A.</b>	<b>Ketentuan Sensor <i>Temperature</i></b>	
1.	<i>Range of measurement</i>	Min. 0 °C sampai +65 °C
2.	<i>Measurement accuracy</i>	Maks. $\pm 0,5$ °C
3.	<i>Resolution</i>	Maks. 0,1 °C
4.	<i>Response time</i>	Min. 10 detik
<b>B.</b>	<b>Ketentuan Sensor <i>Humidity</i></b>	
5.	<i>Range of measurement</i>	Min. 0% RH sampai 100% RH
6.	<i>Measurement accuracy</i>	Maks. $\pm 2\%$ RH
7.	<i>Resolution</i>	Maks. 0,1% RH
8.	<i>Response time</i>	Min. 10 detik
<b>C.</b>	<b>Ketentuan Node</b>	
9.	<i>Sampling rate</i>	Min. 1 data per menit
10.	<i>Wireless protocol stack</i>	IEEE 802.11 atau IEEE 802.15
<b>D.</b>	<b>Ketentuan Sinkronisasi</b>	
11.	<i>Delay synchronization</i>	Maks. 50 $\mu$ S
<b>E.</b>	<b>Ketentuan <i>Environmental</i> dan <i>Mechanical</i></b>	
12.	<i>Operating temperature</i>	Min. 0 °C sampai +65 °C
13.	<i>Water and dust resistance</i>	Min. <i>Ingress Protection</i> (IP) 65
<b>F.</b>	<b>Ketentuan Usia Sensor</b>	
14.	<i>Life-time</i>	Min. 5 tahun

b) Ketentuan Material Tambahan Sensor *Air Temperature*

Material tambahan mencakup Perekat *Air Temperature Mount Block*, *Air Temperature Mount Block*, Bolt, Klem, dan Kabel

i) Perekat Air Temperature Mount Block

1. Perekat *Air Temperature Mount Block* digunakan untuk merekatkan *Air Temperature Mount Block* pada struktur jembatan.
2. Perekat yang digunakan harus mampu merekatkan *Air Temperature Mount Block* ke struktur jembatan.
3. Tipe perekat yang digunakan adalah *epoxy metal* atau *epoxy concrete*.

ii) Air Temperature Mount Block

*Air Temperature Mount Block* dipasang pada struktur jembatan dengan menggunakan perekat *epoxy metal* atau *epoxy concrete* dan digunakan untuk dudukan sensor *Air Temperature*.

iii) Bolt

*Bolt* dapat digunakan sebagai alternatif pengganti perekat *Air Temperature Mount Block*, namun penggunaannya dibatasi yaitu pada lokasi dimana struktur bukan berupa struktur baja dan/atau struktur beton pratekan. Penggunaan sambungan dengan *bolt* harus mendapat persetujuan tertulis dari Pengawas Pekerjaan.

vi) Klem

Klem dapat digunakan sebagai alternatif pengganti perekat *Air Temperature Mount Block*, namun penggunaannya dibatasi yaitu pada lokasi dimana struktur berupa struktur baja. Penggunaan sambungan dengan klem harus mendapat persetujuan tertulis dari Pengawas Pekerjaan.

iv) Kabel

Kabel dibutuhkan untuk menghubungkan dari sensor *Air Temperature* tipe komunikasi kabel ke Ruang Monitoring. Ketentuan kabel harus sesuai dengan Spesifikasi ini.

8) Sensor Anemometer

a) Ketentuan Sensor Anemometer

- i) Sensor Anemometer yang digunakan dalam MKS Jembatan adalah tipe ultrasonik.
- ii) Penjumlahan data sensor Anemometer dilakukan sesuai desain rencana dan dapat diatur dari Pusdatin Kementerian PUPR (*adjustable sampling measurement*).
- iii) Bahan sensor Anemometer harus tahan terhadap pengaruh suhu, angin, hujan, dan laut di lingkungan jembatan.
- iv) Sensor Anemometer yang digunakan harus memenuhi ketentuan pada Tabel 7.42.7) sampai Tabel 7.42.10).

Tabel 7.42.7) Ketentuan sensor Anemometer *bi-axial* (2D) tipe komunikasi kabel

No.	Uraian	Ketentuan
<b>A.</b>	<b>Ketentuan Kecepatan Angin</b>	
1.	<i>Range of measurement</i>	Min. 0 m/s sampai 40 m/s
2.	<i>Measurement accuracy</i>	Maks. $\pm 2\%$

No.	Uraian	Ketentuan
3.	<i>Resolution</i>	Maks. 0,01 m/s
<b>B. Ketentuan Arah Angin</b>		
4.	<i>Azimuth range</i>	Min. 0° sampai 359°
5.	<i>Measurement accuracy</i>	Maks. $\pm 2^\circ$
6.	<i>Resolution</i>	Maks. 0,1°
<b>C. Ketentuan Node</b>		
7.	<i>Sampling rate</i>	Min. 1 data per detik
<b>D. Ketentuan Sinkronisasi</b>		
8.	<i>Delay synchronization</i>	Maks. 50 $\mu$ S
<b>E. Ketentuan <i>Environmental</i> dan <i>Mechanical</i></b>		
9.	<i>Operating temperature</i>	Min. 0 °C sampai +60 °C
10.	<i>Water and dust resistance</i>	Min. <i>Ingress Protection</i> (IP) 67
<b>F. Ketentuan Usia Sensor</b>		
11.	<i>Life-time</i>	Min. 5 tahun

Tabel 7.42.8) Ketentuan sensor Anemometer *bi-axial* (2D) tipe komunikasi *wireless*

No.	Uraian	Ketentuan
<b>A. Ketentuan Kecepatan Angin</b>		
1.	<i>Range of measurement</i>	Min. 0 m/s sampai 40 m/s
2.	<i>Measurement accuracy</i>	Maks. $\pm 2\%$
3.	<i>Resolution</i>	Maks. 0,01 m/s
<b>B. Ketentuan Arah Angin</b>		
4.	<i>Azimuth range</i>	Min. 0° sampai 359°
5.	<i>Measurement accuracy</i>	Maks. $\pm 2^\circ$
6.	<i>Resolution</i>	Maks. 0,1°
<b>C. Ketentuan Node</b>		
7.	<i>Sampling rate</i>	Min. 1 data per detik
8.	<i>Wireless protocol stack</i>	IEEE 802.11 atau IEEE 802.15
<b>D. Ketentuan Sinkronisasi</b>		
8.	<i>Delay synchronization</i>	Maks. 50 $\mu$ S
<b>E. Ketentuan <i>Environmental</i> dan <i>Mechanical</i></b>		
9.	<i>Operating temperature</i>	Min. 0 °C sampai +60 °C
10.	<i>Water and dust resistance</i>	Min. <i>Ingress Protection</i> (IP) 67
<b>F. Ketentuan Usia Sensor</b>		
11.	<i>Life-time</i>	Min. 5 tahun

Tabel 7.42.9) Ketentuan sensor Anemometer *tri-axial* (3D) tipe komunikasi kabel

No.	Uraian	Ketentuan
<b>A. Ketentuan Kecepatan Angin</b>		
1.	<i>Range of measurement</i>	Min. 0 m/s sampai 40 m/s
2.	<i>Measurement accuracy</i>	Maks. $\pm 3\%$
3.	<i>Resolution</i>	Maks. 0,01 m/s
<b>B. Ketentuan Arah Angin</b>		
4.	<i>Azimuth range</i>	Min. 0° sampai 359°
5.	<i>Elevation range</i>	Min. $\pm 60^\circ$
6.	<i>Measurement accuracy</i>	Maks. $\pm 5^\circ$
7.	<i>Resolution</i>	Maks. 0,1°



No.	Uraian	Ketentuan
<b>C.</b>	<b>Ketentuan Node</b>	
8.	<i>Sampling rate</i>	Min. 1 data per detik
<b>D.</b>	<b>Ketentuan Sinkronisasi</b>	
9.	<i>Delay synchronization</i>	Maks. 50 $\mu$ S
<b>E.</b>	<b>Ketentuan <i>Environmental</i> dan <i>Mechanical</i></b>	
10.	<i>Operating temperature</i>	Min. 0 °C sampai +50 °C
11.	<i>Water and dust resistance</i>	Min. <i>Ingress Protection</i> (IP) 67
<b>F.</b>	<b>Ketentuan Usia Sensor</b>	
12.	<i>Life-time</i>	Min. 5 tahun

Tabel 7.42.10) Ketentuan sensor Anemometer *tri-axial* (3D) tipe komunikasi *wireless*

No.	Uraian	Ketentuan
<b>A.</b>	<b>Ketentuan Kecepatan Angin</b>	
1.	<i>Range of measurement</i>	Min. 0 m/s sampai 40 m/s
2.	<i>Measurement accuracy</i>	Maks. $\pm 3\%$
3.	<i>Resolution</i>	Maks. 0,01 m/s
<b>B.</b>	<b>Ketentuan Arah Angin</b>	
4.	<i>Azimuth range</i>	Min. 0° sampai 359°
5.	<i>Elevation range</i>	Min. $\pm 60^\circ$
6.	<i>Measurement accuracy</i>	Maks. $\pm 5^\circ$
7.	<i>Resolution</i>	Maks. 0,1°
<b>C.</b>	<b>Ketentuan Node</b>	
8.	<i>Sampling rate</i>	Min. 1 data per detik
9.	<i>Wireless protocol stack</i>	IEEE 802.11 atau IEEE 802.15
<b>D.</b>	<b>Ketentuan Sinkronisasi</b>	
10.	<i>Delay synchronization</i>	Maks. 50 $\mu$ S
<b>E.</b>	<b>Ketentuan <i>Environmental</i> dan <i>Mechanical</i></b>	
11.	<i>Operating temperature</i>	Min. 0 °C sampai +50 °C
12.	<i>Water and dust resistance</i>	Min. <i>Ingress Protection</i> (IP) 67
<b>F.</b>	<b>Ketentuan Usia Sensor</b>	
13.	<i>Life-time</i>	Min. 5 tahun

b) Ketentuan Material Tambahan Sensor Anemometer

Material tambahan mencakup *Mounting* sensor Anemometer, *Bolt*, Klem, dan Kabel.

i) *Mounting* sensor Anemometer

Sensor Anemometer dipasang pada pipa *stainless steel*.

ii) *Bolt*

*Bolt* dapat digunakan sebagai alternatif pengganti perekat *Mounting* sensor Anemometer, namun penggunaannya dibatasi yaitu pada lokasi dimana struktur bukan berupa struktur baja dan/atau struktur beton pratekan. Penggunaan sambungan dengan *bolt* harus mendapat persetujuan tertulis dari Pengawas Pekerjaan.

iii) Klem

Klem dapat digunakan sebagai alternatif pengganti perekat *Mounting* sensor Anemometer, namun penggunaannya dibatasi yaitu pada lokasi dimana

struktur berupa struktur baja. Penggunaan sambungan dengan klem harus mendapat persetujuan tertulis dari Pengawas Pekerja.

iv) Kabel

Kabel dibutuhkan untuk menghubungkan dari sensor Anemometer tipe komunikasi kabel ke Ruang Monitoring. Ketentuan kabel harus sesuai dengan Spesifikasi ini.

9) CCTV

a) Ketentuan CCTV

- i) Penjumlahan data CCTV dengan *software Image Processing* dan CCTV dilakukan sesuai desain rencana dan dapat diatur dari Pusdatin Kementerian PUPR (*adjustable sampling measurement*).
- ii) Bahan CCTV harus tahan terhadap pengaruh suhu, angin, hujan, dan laut di lingkungan jembatan.
- iii) CCTV tipe 1 yang digunakan harus memenuhi ketentuan pada Tabel 7.42.11).

Tabel 7.42.11) Ketentuan sensor CCTV tipe 1

No.	Uraian	Ketentuan
<b>A.</b>	<b>Ketentuan CCTV</b>	
1.	<i>Video resolution</i>	Min. 1920 pixels x 1080 pixels @ 30 frame per detik
2.	<i>Noise reduction</i>	Min. 3D Noise Reduction
3.	<i>Feature</i>	Night Vision Image Capture
<b>B.</b>	<b>Ketentuan Sinkronisasi</b>	
3.	<i>Delay synchronization</i>	Maks. 50 $\mu$ S
<b>C.</b>	<b>Ketentuan <i>Environmental</i> dan <i>Mechanical</i></b>	
4.	<i>Operating temperature</i>	Min. 0 °C sampai +40 °C
5.	<i>Water and dust resistance</i>	Min. Ingress Protection (IP) 67
<b>D.</b>	<b>Ketentuan Usia Sensor</b>	
6.	<i>Life-time</i>	Min. 5 tahun

- iv) CCTV tipe 2 yang digunakan harus memenuhi ketentuan pada Tabel 7.42.12)

Tabel 7.42.12) Ketentuan sensor CCTV tipe 2

No.	Uraian	Ketentuan
<b>A.</b>	<b>Ketentuan CCTV</b>	
1.	<i>Camera type</i>	CMOS atau <i>thermal camera</i>
2.	<i>Software and algorithm</i>	Min. <i>image processing</i> , <i>traffic counting</i> , pengukur kecepatan dan rata-rata kecepatan, <i>headway</i> , <i>gap</i> , kelas dan jumlah kendaraan per kelas kendaraan serta <i>lane occupancy</i> .

No.	Uraian	Ketentuan
<b>B.</b>	<b>Ketentuan Sinkronisasi</b>	
3.	<i>Delay synchronization</i>	Maks. 50 $\mu$ S
<b>C.</b>	<b>Ketentuan <i>Environmental</i> dan <i>Mechanical</i></b>	
4.	<i>Operating temperature</i>	Min. 0 °C sampai +40 °C
5.	<i>Water and dust resistance</i>	Min. <i>Ingress Protection</i> (IP) 67
<b>D.</b>	<b>Ketentuan Usia Sensor</b>	
6.	<i>Life-time</i>	Min. 5 tahun

- v) CCTV tipe 1 dan CCTV tipe 2 dengan tipe komunikasi *wireless* dapat menggunakan *wireless protocol stack* IEEE 802.11 atau IEEE 802.15.

b) Ketentuan Material Tambahan CCTV

Material tambahan mencakup Sistem Pengikat dan Kabel.

i) Sistem Pengikat

Sistem pengikat CCTV dapat menggunakan perekat atau *bolt* atau klem. *Bolt* dapat digunakan sebagai alternatif perekat, namun penggunaannya dibatasi yaitu pada lokasi dimana struktur bukan berupa struktur baja dan/atau struktur beton pratekan. Klem dapat digunakan sebagai alternatif perekat pada lokasi struktur berupa struktur baja. Penggunaan sistem pengikat dengan *bolt* atau klem harus mendapat persetujuan tertulis dari Pengawas Pekerjaan.

ii) Kabel

Kabel dibutuhkan untuk menghubungkan dari CCTV tipe komunikasi kabel ke Ruang Monitoring. Ketentuan kabel harus sesuai dengan Spesifikasi ini.

10) Sensor DMM

a) Ketentuan Sensor DMM

- Penjumpatan data sensor DMM dilakukan sesuai desain rencana dan dapat diatur dari Pusdatin Kementerian PUPR (*adjustable sampling measurement*).
- Sensor DMM harus mampu melakukan penjumpatan data saat *threshold* defleksi atau *threshold* sensor lain terlampaui melalui perangkat lunak dalam integrasi sistem.
- Bahan sensor DMM harus tahan terhadap pengaruh suhu, angin, hujan, dan laut di lingkungan jembatan.
- Sensor DMM yang digunakan harus memenuhi ketentuan pada tabel 7.42.13).

Tabel 7.42.13) Ketentuan sensor DMM

No.	Uraian	Ketentuan
<b>A.</b>	<b>Ketentuan <i>Deflection Multi Meter</i> (DMM)</b>	
1.	<i>Range of measurement</i>	Min. 150 mm
2.	<i>Measurement accuracy</i>	Maks. $\pm$ 5 mm
3.	<i>Resolution</i>	Maks. 1 mm
4.	<i>Effective distance of measurement</i>	Min. 100 m

No.	Uraian	Ketentuan
5.	<i>Laser type</i>	Maks. <i>Class 3R</i>
<b>B.</b>	<b>Ketentuan Node</b>	
6.	<i>Sampling rate</i>	Min. 10 data per detik
<b>C.</b>	<b>Ketentuan Sinkronisasi</b>	
7.	<i>Delay synchronization</i>	Maks. 50 $\mu$ S
<b>D.</b>	<b>Ketentuan <i>Environmental</i> dan <i>Mechanical</i></b>	
8.	<i>Operating temperature</i>	Min. 0 °C sampai +65 °C
9.	<i>Water and dust resistance</i>	Min. <i>Ingress Protection (IP) 67</i>
<b>E.</b>	<b>Ketentuan Usia Sensor</b>	
10.	<i>Life-time</i>	Min. 5 tahun

b) Ketentuan Material Tambahan Sensor DMM

Material tambahan sensor DMM mencakup *Remote Input/Output (I/O)*, Sistem Pengikat, Kabel dan peralatan lain yang disesuaikan dengan kebutuhan pelaksanaan.

i) Remote I/O

1. Sensor DMM yang digunakan harus dilengkapi dengan I/O yang bersifat *portable* sebagai jalur transmisi data dari sensor ke DAU/DAQ.
2. Jumlah *input* dan *output* yang digunakan sesuai dengan Gambar.

ii) Sistem Pengikat

Sistem pengikat sensor DMM dapat menggunakan perekat atau *bolt* atau klem. *Bolt* dapat digunakan sebagai alternatif perekat, namun penggunaannya dibatasi yaitu pada lokasi dimana struktur bukan berupa struktur baja dan/atau struktur beton pratekan. Klem dapat digunakan sebagai alternatif perekat pada lokasi struktur berupa struktur baja. Penggunaan sistem pengikat dengan *bolt* atau klem harus mendapat persetujuan tertulis dari Pengawas Pekerjaan.

iii) Kabel

Kabel dibutuhkan untuk menghubungkan dari sensor DMM ke Ruang Monitoring. Ketentuan kabel harus sesuai dengan Spesifikasi ini.

11) Sensor EM

a) Ketentuan Sensor EM

- i) Pemasangan sensor EM harus dilengkapi dengan *junction box* pada sisi sensor untuk memudahkan melakukan pengecekan sinyal saat melaksanakan pemeliharaan.
- ii) Sensor EM harus dilengkapi dengan *surge protection* untuk mencegah kerusakan terjadi pada sensor EM dan DAU sensor EM akibat imbas tegangan lebih yang melewati kabel sensor, *stay cable* maupun struktur jembatan. *Surge protection* pada sisi sensor EM maupun sisi DAU sensor EM harus terhubung jalur pentanahan (*grounding*).
- iii) Penjumlahan data sensor EM dilakukan sesuai desain rencana dan dapat diatur dari Pusdatin Kementerian PUPR (*adjustable sampling measurement*).

- iv) Sensor EM harus mampu melakukan penjumlahan data saat *threshold* tegangan kabel atau *threshold* sensor lain terlampaui melalui perangkat lunak dalam integrasi sistem.
- v) Bahan sensor EM harus tahan terhadap pengaruh suhu, angin, hujan, dan laut di lingkungan jembatan.
- vi) Sensor EM yang digunakan harus memenuhi ketentuan pada Tabel 7.42.14) sampai Tabel 7.42.15).

Tabel 7.42.14) Ketentuan sensor EM tipe komunikasi kabel

No.	Uraian	Ketentuan
<b>A.</b>	<b>Ketentuan Elasto Magnetik (EM)</b>	
1.	<i>Measurement accuracy</i>	Maks. $\pm 1$ MPa
2.	<i>Response time</i>	Maks. 30 detik
<b>B.</b>	<b>Ketentuan Node</b>	
3.	<i>Number of channels per unit</i>	Min. 16 unit
4.	<i>Sampling rate</i>	Min. 1 data per 10 menit
<b>C.</b>	<b>Ketentuan Sinkronisasi</b>	
5.	<i>Delay synchronization</i>	Maks. 50 $\mu$ S
<b>D.</b>	<b>Ketentuan <i>Environmental</i> dan <i>Mechanical</i></b>	
6.	<i>Operating temperature</i>	Min. 0 °C sampai +65 °C
7.	<i>Water and dust resistance</i>	Min. <i>Ingress Protection (IP)</i> 67
<b>E.</b>	<b>Ketentuan Usia Sensor</b>	
8.	<i>Life-time</i>	Min. 5 tahun

Tabel 7.42.15) Ketentuan sensor EM tipe komunikasi *wireless*

No.	Uraian	Ketentuan
<b>A.</b>	<b>Ketentuan Elasto Magnetik (EM)</b>	
1.	<i>Measurement accuracy</i>	Maks. $\pm 1$ MPa
2.	<i>Response time</i>	Maks. 30 detik
<b>B.</b>	<b>Ketentuan Node</b>	
3.	<i>Number of channels per unit</i>	Min. 16 unit
4.	<i>Sampling rate</i>	Min. 1 data per 10 menit
5.	<i>Wireless protocol stack</i>	IEEE 802.11 atau IEEE 802.15
<b>C.</b>	<b>Ketentuan Sinkronisasi</b>	
6.	<i>Delay synchronization</i>	Maks. 50 $\mu$ S
<b>D.</b>	<b>Ketentuan <i>Environmental</i> dan <i>Mechanical</i></b>	
7.	<i>Operating temperature</i>	Min. 0 °C sampai +65 °C
8.	<i>Water and dust resistance</i>	Min. <i>Ingress Protection (IP)</i> 67
<b>E.</b>	<b>Ketentuan Usia Sensor</b>	
9.	<i>Life-time</i>	Min. 5 tahun

b) Ketentuan Material Tambahan Sensor EM

Material tambahan sensor EM mencakup Sistem Pengikat dan Kabel.

i) Sistem Pengikat

Sistem Pengikat pada sensor EM menggunakan baut yang dikencangkan, tidak diizinkan menggunakan perekat atau *bolt* atau klem.



ii) Kabel

Kabel dibutuhkan untuk menghubungkan dari sensor EM ke Ruang Monitoring. Ketentuan kabel harus sesuai dengan Spesifikasi ini.

12) GPS

a) Ketentuan GPS

- i) GPS Rover dan Reference berkomunikasi dengan kabel.
- ii) GPS Rover dan Reference yang digunakan adalah tipe *real time kinematic* (RTK).
- iii) Setiap GPS Rover dan Reference minimal mampu mendeteksi beberapa satelit untuk memastikan akurasi data yang diperoleh.
- iv) Instalasi GPS Rover dan Reference harus dilengkapi dengan *junction box* pada sisi GPS Rover dan Reference sebagai perlindungan terhadap kondisi lingkungan dan memudahkan teknisi melakukan pengecekan sinyal saat melaksanakan pemeliharaan.
- v) GPS Rover dan Reference harus dilengkapi dengan *surge protection* untuk mencegah kerusakan terjadi pada GPS Rover dan Reference akibat imbas tegangan lebih yang melewati kabel antena. *Surge protection* pada sisi GPS Rover dan Reference maupun pada sisi DAU GPS Rover dan Reference harus terhubung dengan jalur pentanahan (*grounding*).
- vi) Penjumlahan data GPS dilakukan sesuai desain rencana dan dapat diatur dari Pusdatin Kementerian PUPR (*adjustable sampling measurement*).
- vii) Sensor GPS harus mampu melakukan penjumlahan data saat *threshold* defleksi atau *threshold* sensor lain terlampaui melalui perangkat lunak dalam integrasi sistem.
- viii) Bahan GPS harus tahan terhadap pengaruh suhu, angin, hujan, dan laut di lingkungan jembatan.
- ix) GPS yang digunakan harus memenuhi ketentuan pada Tabel 7.42.16) sampai Tabel 7.42.17).

Tabel 7.42.16) Ketentuan GPS Rover

No.	Uraian	Ketentuan
<b>A.</b>	<b>Ketentuan GPS Reference</b>	
1.	<i>Number of channels</i>	Min. 120 <i>channels</i>
2.	<i>GPS and GNSS signal</i>	Min. GPS, GLONASS, Galileo
3.	<i>Measurement accuracy</i>	Maks. 8 mm + 0,5 ppm (horisontal) Maks 15 mm + 0,5 ppm (vertikal)
<b>B.</b>	<b>Ketentuan Node</b>	
4.	<i>Sampling rate</i>	Min. 10 data per detik
<b>C.</b>	<b>Ketentuan Sinkronisasi</b>	
5.	<i>Delay synchronization</i>	Maks. 50 $\mu$ S
<b>D.</b>	<b>Ketentuan <i>Environmental</i> dan <i>Mechanical</i></b>	
6.	<i>Operating temperature</i>	Min. 0 °C sampai +65 °C
7.	<i>Water and dust resistance</i>	Min. <i>Ingress Protection</i> (IP) 67
8.	<i>Humidity</i>	Min. 95% ( <i>non-condensing</i> )

No.	Uraian	Ketentuan
<b>E.</b>	<b>Ketentuan Usia Sensor</b>	
9.	<i>Life-time</i>	Min. 5 tahun

Tabel 7.42.17) Ketentuan sensor GPS Reference

No.	Uraian	Ketentuan
<b>A.</b>	<b>Ketentuan GPS Reference</b>	
1.	<i>Number of channels</i>	Min. 10 <i>channels</i>
2.	<i>GPS and GNSS signal</i>	Min. GPS, GLONASS, Galileo
3.	<i>Measurement accuracy</i>	Maks. 8 mm + 0,5 ppm (horisontal) Maks 15 mm + 0,5 ppm (vertikal)
<b>B.</b>	<b>Ketentuan Node</b>	
4.	<i>Sampling rate</i>	Min. 20 data per detik
<b>C.</b>	<b>Ketentuan Sinkronisasi</b>	
5.	<i>Delay synchronization</i>	Maks. 50 $\mu$ S
<b>D.</b>	<b>Ketentuan <i>Environmental</i> dan <i>Mechanical</i></b>	
6.	<i>Operating temperature</i>	Min. 0 °C sampai +65 °C
7.	<i>Water and dust resistance</i>	Min. <i>Ingress Protection</i> (IP) 67
8.	<i>Humidity</i>	Min. 95% ( <i>non-condensing</i> )
<b>E.</b>	<b>Ketentuan Usia Sensor</b>	
9.	<i>Life-time</i>	Min. 5 tahun

b) Ketentuan Material Tambahan GPS

Material tambahan GPS mencakup Sistem Pengikat dan Kabel.

i) Sistem Pengikat

Sistem pengikat sensor DMM dapat menggunakan perekat atau *bolt* atau klem. *Bolt* dapat digunakan sebagai alternatif perekat, namun penggunaannya dibatasi yaitu pada lokasi dimana struktur bukan berupa struktur baja dan/atau struktur beton pratekan. Klem dapat digunakan sebagai alternatif perekat pada lokasi struktur berupa struktur baja. Penggunaan sistem pengikat dengan *bolt* atau klem harus mendapat persetujuan tertulis dari Pengawas Pekerjaan.

ii) Kabel

Kabel dibutuhkan untuk menghubungkan dari GPS ke Ruang Monitoring. Ketentuan kabel harus sesuai dengan Spesifikasi ini.

13) Sensor Joint Meter

a) Ketentuan Sensor Joint Meter

- i) Penjumlahan data sensor *Joint Meter* dilakukan sesuai desain rencana dan dapat diatur dari Pusdatin Kementerian PUPR (*adjustable sampling measurement*).
- ii) Bahan sensor *Joint Meter* harus tahan terhadap pengaruh suhu, angin, hujan, dan laut di lingkungan jembatan.
- iii) Sensor *Joint Meter* yang digunakan harus memenuhi ketentuan pada Tabel 7.42.18) sampai Tabel 7.42.19).

Tabel 7.42.18) Ketentuan sensor *Joint Meter* tipe komunikasi kabel

No.	Uraian	Ketentuan
<b>A.</b>	<b>Ketentuan <i>Joint Meter</i></b>	
1.	<i>Range of measurement</i>	Min. 100 mm
2.	<i>Measurement accuracy</i>	Maks. $\pm 0,2\%$ <i>Full Scale</i> (FS)
3.	<i>Resolution</i>	Maks. 0,025%
<b>B.</b>	<b>Ketentuan <i>Node</i></b>	
4.	<i>Sampling rate</i>	Min. 1 data per detik
<b>C.</b>	<b>Ketentuan Sinkronisasi</b>	
5.	<i>Delay synchronization</i>	Maks. 50 $\mu$ S
<b>D.</b>	<b>Ketentuan <i>Environmental</i> dan <i>Mechanical</i></b>	
6.	<i>Operating temperature</i>	Min. 0 °C sampai +60 °C
7.	<i>Water and dust resistance</i>	Min. <i>Ingress Protection</i> (IP) 67
<b>E.</b>	<b>Ketentuan Usia Sensor</b>	
8.	<i>Life-time</i>	Min. 5 tahun

Tabel 7.42.19) Ketentuan sensor *Joint Meter* tipe komunikasi *wireless*

No.	Uraian	Ketentuan
<b>A.</b>	<b>Ketentuan <i>Joint Meter</i></b>	
1.	<i>Range of measurement</i>	Min. 100 mm
2.	<i>Measurement accuracy</i>	Maks. $\pm 0,2\%$ <i>Full Scale</i> (FS)
3.	<i>Resolution</i>	Maks. 0,025%
<b>B.</b>	<b>Ketentuan <i>Node</i></b>	
4.	<i>Sampling rate</i>	Min. 1 data per detik
5.	<i>Wireless protocol stack</i>	IEEE 802.11 atau IEEE 802.15
<b>C.</b>	<b>Ketentuan Sinkronisasi</b>	
6.	<i>Delay synchronization</i>	Maks. 50 $\mu$ S
<b>D.</b>	<b>Ketentuan <i>Environmental</i> dan <i>Mechanical</i></b>	
7.	<i>Operating temperature</i>	Min. 0 °C sampai +60 °C
8.	<i>Water and dust resistance</i>	Min. <i>Ingress Protection</i> (IP) 67
<b>E.</b>	<b>Ketentuan Usia Sensor</b>	
9.	<i>Life-time</i>	Min. 5 tahun

b) Ketentuan Material Tambahan Sensor *Joint Meter*

Material tambahan sensor *Joint Meter* mencakup perekat *Mounting* sensor *Joint Meter*, *Bolt*, Klem, dan Kabel.

i) Perekat *Mounting* sensor *Joint Meter*

1. Sensor *Joint Meter* dipasang pada struktur jembatan dengan *flange clamp* sesuai dengan dimensi sensor.
2. Bagian *core* sensor *Joint Meter* (*sensing core*) dibaut dengan *anchor* kait tertutup (*closed hooked anchor*) dari bahan tahan korosi dengan diameter yang sesuai dengan diameter *core* sensor.
3. *Mounting* sensor dirancang sedemikian rupa sehingga mampu menahan beban keseluruhan peralatan sensor *Joint Meter* dan pendukungnya serta meminimalkan pengaruh pergerakan pada sisi vertikal dan lateral.

ii) Bolt

*Bolt* dapat digunakan sebagai alternatif pengganti perekat *Mounting sensor Joint Meter*, namun penggunaannya dibatasi yaitu pada lokasi dimana struktur bukan berupa struktur baja dan/atau struktur beton pratekan. Penggunaan sambungan dengan *bolt* harus mendapat persetujuan tertulis dari Pengawas Pekerjaan.

iii) Klem

Klem dapat digunakan sebagai alternatif pengganti perekat *Mounting sensor Joint Meter*, namun penggunaannya dibatasi yaitu pada lokasi dimana struktur berupa struktur baja. Penggunaan sambungan dengan klem harus mendapat persetujuan tertulis dari Pengawas Pekerjaan.

iv) Kabel

Kabel dibutuhkan untuk menghubungkan dari sensor *Joint Meter* ke Ruang Monitoring. Ketentuan kabel harus sesuai dengan Spesifikasi ini.

14) Khusus Sensor Load Cell

a) Ketentuan Sensor Load Cell

- i) Sensor *Load Cell* yang digunakan merupakan tipe yang dipasang pada satu *strand (mono/single strand)*.
- ii) Penjumlahan data sensor *Load Cell* dilakukan sesuai desain rencana dan dapat diatur dari Pusdatin Kementerian PUPR (*adjustable sampling measurement*).
- iii) Sensor *Load Cell* harus mampu melakukan penjumlahan data saat *threshold* tegangan kabel atau *threshold* sensor lain terlampaui melalui perangkat lunak dalam integrasi sistem.
- iv) Bahan sensor *Load Cell* harus tahan terhadap pengaruh suhu, angin, hujan, dan laut di lingkungan jembatan.
- v) Sensor *Load Cell* yang digunakan harus memenuhi ketentuan pada Tabel 7.42.20).

Tabel 7.42.20) Ketentuan sensor *Load Cell*

No.	Uraian	Ketentuan
<b>A. Ketentuan Load Cell</b>		
1.	<i>Measurement accuracy</i>	Maks. $\pm 0,5\%$ Full Scale (FS)
2.	<i>Resolution</i>	Maks. 0,05% Full Scale (FS)
3.	<i>Over range</i>	Min. 150% Full Scale (FS)
<b>B. Ketentuan Node</b>		
4.	<i>Sampling rate</i>	Min. 1 data per detik
<b>C. Ketentuan Sinkronisasi</b>		
5.	<i>Delay synchronization</i>	Maks. 50 $\mu$ S
<b>D. Ketentuan Environmental dan Mechanical</b>		
6.	<i>Operating temperature</i>	Min. 0 °C sampai +65 °C
<b>E. Ketentuan Usia Sensor</b>		
7.	<i>Life-time</i>	Min. 5 tahun

b) Ketentuan Material Tambahan Sensor *Load Cell*

Material tambahan sensor *Load Cell* mencakup Sistem Pengikat dan Kabel.

i) Sistem Pengikat

Sistem Pengikat pada sensor EM menggunakan baut yang dikencangkan, tidak diizinkan menggunakan perekat atau *bolt* atau klem.

ii) Kabel

Kabel dibutuhkan untuk menghubungkan dari sensor *Load Cell* ke Ruang Monitoring. Ketentuan kabel harus sesuai dengan Spesifikasi ini.

15) Sensor Seismometer

a) Ketentuan Sensor Seismometer

- i) Penjumlahan data sensor Seismometer dilakukan sesuai desain rencana dan dapat diatur dari Pusdatin Kementerian PUPR (*adjustable sampling measurement*).
- ii) Bahan sensor Seismometer harus tahan terhadap pengaruh suhu, angin, hujan, dan laut di lingkungan jembatan.
- iii) Sensor Seismometer yang digunakan harus memenuhi ketentuan pada Tabel 7.42.21) sampai Tabel 7.42.22).

Tabel 7.42.21) Ketentuan sensor Seismometer tipe komunikasi kabel

No.	Uraian	Ketentuan
<b>A.</b>	<b>Ketentuan Seismometer</b>	
1.	<i>Range of measurement</i>	Min. $\pm 4$ G
2.	<i>Frequency response</i>	0 sampai 200 Hz
<b>B.</b>	<b>Ketentuan Node</b>	
3.	<i>Non linearity</i>	Maks. 0,5% <i>Full Scale</i> (FS)
4.	<i>Cross axis sensitivity</i>	Maks. 1% <i>Full Scale</i> (FS)
5.	<i>Sampling rate</i>	Min. 100 data per detik
<b>C.</b>	<b>Ketentuan Sinkronisasi</b>	
6.	<i>Delay synchronization</i>	Maks. 50 $\mu$ S
<b>D.</b>	<b>Ketentuan <i>Environmental</i> dan <i>Mechanical</i></b>	
7.	<i>Operating temperature</i>	Min. 0 °C sampai +60 °C
8.	<i>Water and dust resistance</i>	Min. <i>Ingress Protection</i> (IP) 65
<b>E.</b>	<b>Ketentuan Usia Sensor</b>	
9.	<i>Life-time</i>	Min. 5 tahun

Tabel 7.42.22) Ketentuan sensor Seismometer tipe komunikasi *wireless*

No.	Uraian	Ketentuan
<b>A.</b>	<b>Ketentuan Seismometer</b>	
1.	<i>Range of measurement</i>	Min. $\pm 4$ G
2.	<i>Frequency response</i>	0 sampai 200 Hz
<b>B.</b>	<b>Ketentuan Node</b>	
3.	<i>Non linearity</i>	Maks. 0,5% <i>Full Scale</i> (FS)
4.	<i>Cross axis sensitivity</i>	Maks. 1% <i>Full Scale</i> (FS)
5.	<i>Sampling rate</i>	Min. 100 data per detik
6.	<i>Wireless protocol stack</i>	IEEE 802.11 atau IEEE 802.15



No.	Uraian	Ketentuan
<b>C.</b>	<b>Ketentuan Sinkronisasi</b>	
7.	<i>Delay synchronization</i>	Maks. 50 $\mu$ S
<b>D.</b>	<b>Ketentuan <i>Environmental</i> dan <i>Mechanical</i></b>	
8.	<i>Operating temperature</i>	Min. 0 °C sampai +60 °C
9.	<i>Water and dust resistance</i>	Min. <i>Ingress Protection</i> (IP) 65
<b>E.</b>	<b>Ketentuan Usia Sensor</b>	
10.	<i>Life-time</i>	Min. 5 tahun

b) Ketentuan Material Tambahan Sensor Seismometer

Material tambahan sensor Seismometer mencakup Perekat Seismometer *Mount Block*, Seismometer *Mount Block*, *Bolt*, Klem, dan Kabel.

i) Perekat Seismometer *Mount Block*

1. Perekat *Seismometer Mount Block* digunakan untuk merekatkan *Seismometer Mount Block* pada struktur jembatan.
2. Tipe perekat yang digunakan adalah *epoxy metal* atau *epoxy concrete*.

ii) Seismometer *Mount Block*

*Seismometer Mount Block* dipasang pada struktur jembatan dengan menggunakan perekat *epoxy metal* atau *epoxy concrete* dan digunakan untuk dudukan sensor *Seismometer*.

iii) *Bolt*

*Bolt* dapat digunakan sebagai alternatif pengganti perekat *Seismometer Mount Block*, namun penggunaannya dibatasi yaitu pada lokasi dimana struktur bukan berupa struktur baja dan/atau struktur beton pratekan. Penggunaan sambungan dengan *bolt* harus mendapat persetujuan tertulis dari Pengawas Pekerjaan.

iv) Klem

Klem dapat digunakan sebagai alternatif pengganti perekat *Seismometer Mount Block*, namun penggunaannya dibatasi yaitu pada lokasi dimana struktur berupa struktur baja. Penggunaan sambungan dengan klem harus mendapat persetujuan tertulis dari Pengawas Pekerjaan.

v) Kabel

Kabel dibutuhkan untuk menghubungkan dari sensor *Seismometer* ke Ruang Monitoring. Ketentuan kabel harus sesuai dengan Spesifikasi ini.

16) Sensor *Strain Gauge*

a) Ketentuan Sensor *Strain Gauge*

- i) Sensor *Strain Gauge* di-coating dengan material yang sesuai dengan kondisi pemasangan sensor pada jembatan.
- ii) Sensor *Strain Gauge* terkompensasi terhadap perubahan temperatur untuk meminimalkan kesalahan pembacaan sensor akibat pengaruh perubahan temperatur.
- iii) Penjumlahan data sensor *Strain Gauge* dilakukan sesuai desain rencana dan dapat diatur dari Pusdatin Kementerian PUPR (*adjustable sampling measurement*).

- iv) Sensor *Strain Gauge* harus mampu melakukan penjumlahan data saat *threshold* regangan atau *threshold* sensor lain terlampaui melalui perangkat lunak dalam integrasi sistem.
- v) Bahan sensor *Strain Gauge* harus tahan terhadap pengaruh suhu, angin, hujan, dan laut di lingkungan jembatan.
- vi) Sensor *Strain Gauge* yang digunakan harus memenuhi ketentuan pada Tabel 7.42.23) sampai Tabel 7.42.28).

Tabel 7.42.23) Ketentuan sensor *Strain Gauge Inner* tipe komunikasi kabel

No.	Uraian	Ketentuan
<b>A. Ketentuan <i>Strain Gauge</i></b>		
1.	<i>Type</i>	<i>Concrete Rebar, Concrete Embedded, Waterproof, Self-Temperature Compensated</i>
2.	<i>Range of measurement</i>	Min. sampai 5000 $\mu\epsilon$
3.	<i>Resistance</i>	Min. 120 $\Omega$
4.	<i>Measurement accuracy</i>	Maks. $\pm 5\%$ Full Scale (FS)
5.	<i>Resolution</i>	Maks. 1 $\mu\epsilon$
<b>B. Ketentuan Node</b>		
6.	<i>Sampling rate</i>	Min. 100 data per detik
<b>C. Ketentuan Sinkronisasi</b>		
7.	<i>Delay synchronization</i>	Maks. 50 $\mu\text{S}$
<b>D. Ketentuan <i>Environmental</i> dan <i>Mechanical</i></b>		
8.	<i>Operating temperature</i>	Min. 0 °C sampai +80 °C
9.	<i>Protection method</i>	<i>Water or Moisture Proofing</i>
<b>E. Ketentuan Usia Sensor</b>		
10.	<i>Life-time</i>	Min. 5 tahun

Tabel 7.42.24) Ketentuan sensor *Strain Gauge Inner* tipe komunikasi wireless

No.	Uraian	Ketentuan
<b>A. Ketentuan <i>Strain Gauge</i></b>		
1.	<i>Type</i>	<i>Concrete Rebar, Concrete Embedded, Waterproof, Self-Temperature Compensated</i>
2.	<i>Range of measurement</i>	Min. sampai 5000 $\mu\epsilon$
3.	<i>Resistance</i>	Min. 120 $\Omega$
4.	<i>Measurement accuracy</i>	Maks. $\pm 5\%$ Full Scale (FS)
5.	<i>Resolution</i>	Maks. 1 $\mu\epsilon$
<b>B. Ketentuan Node</b>		
6.	<i>Sampling rate</i>	Min. 100 data per detik
7.	<i>Wireless protocol stack</i>	IEEE 802.11 atau IEEE 802.15
<b>C. Ketentuan Sinkronisasi</b>		
8.	<i>Delay synchronization</i>	Maks. 50 $\mu\text{S}$
<b>D. Ketentuan <i>Environmental</i> dan <i>Mechanical</i></b>		
9.	<i>Operating temperature</i>	Min. 0 °C sampai +80 °C
10.	<i>Protection method</i>	<i>Water or Moisture Proofing</i>
<b>E. Ketentuan Usia Sensor</b>		
11.	<i>Life-time</i>	Min. 5 tahun

Tabel 7.42.25) Ketentuan sensor *Strain Gauge Outer* tipe *Foil* komunikasi kabel

No.	Uraian	Ketentuan
<b>A.</b>	<b>Ketentuan <i>Strain Gauge</i></b>	
1.	<i>Type</i>	<i>Foil, Concrete Surface Mounted</i>
2.	<i>Range of measurement</i>	Min. sampai 5000 $\mu\epsilon$
3.	<i>Measurement accuracy</i>	Maks. $\pm 5\%$ <i>Full Scale</i> (FS)
4.	<i>Resolution</i>	Maks. 1 $\mu\epsilon$
<b>B.</b>	<b>Ketentuan <i>Node</i></b>	
5.	<i>Sampling rate</i>	Min. 100 data per detik
<b>C.</b>	<b>Ketentuan Sinkronisasi</b>	
6.	<i>Delay synchronization</i>	Maks. 50 $\mu\text{S}$
<b>D.</b>	<b>Ketentuan <i>Environmental</i> dan <i>Mechanical</i></b>	
7.	<i>Operating temperature</i>	Min. 0 °C sampai +65 °C
<b>F.</b>	<b>Ketentuan Usia Sensor</b>	
8.	<i>Life-time</i>	Min. 5 tahun

Tabel 7.42.26) Ketentuan sensor *Strain Gauge Outer* tipe *Transducer* komunikasi kabel

No.	Uraian	Ketentuan
<b>A.</b>	<b>Ketentuan <i>Strain Gauge</i></b>	
1.	<i>Type</i>	<i>Transducer</i>
2.	<i>Range of measurement</i>	Min. sampai 3000 $\mu\epsilon$
3.	<i>Measurement accuracy</i>	Maks. $\pm 5\%$ <i>Full Scale</i> (FS)
4.	<i>Resolution</i>	Maks. 1 $\mu\epsilon$
<b>B.</b>	<b>Ketentuan <i>Node</i></b>	
5.	<i>Sampling rate</i>	Min. 100 data per detik
<b>C.</b>	<b>Ketentuan Sinkronisasi</b>	
6.	<i>Delay synchronization</i>	Maks. 50 $\mu\text{S}$
<b>D.</b>	<b>Ketentuan <i>Environmental</i> dan <i>Mechanical</i></b>	
7.	<i>Operating temperature</i>	Min. 0 °C sampai +65 °C
8.	<i>Water and dust resistance</i>	Min. <i>Ingress Protection</i> (IP) 67
<b>F.</b>	<b>Ketentuan Usia Sensor</b>	
9.	<i>Life-time</i>	Min. 5 tahun

Tabel 7.42.27) Ketentuan sensor *Strain Gauge Outer* tipe *Foil* komunikasi *wireless*

No.	Uraian	Ketentuan
<b>A.</b>	<b>Ketentuan <i>Strain Gauge</i></b>	
1.	<i>Type</i>	<i>Foil, Concrete Surface Mounted</i>
2.	<i>Range of measurement</i>	Min. sampai 5000 $\mu\epsilon$
3.	<i>Measurement accuracy</i>	Maks. $\pm 5\%$ <i>Full Scale</i> (FS)
4.	<i>Resolution</i>	Maks. 1 $\mu\epsilon$
<b>B.</b>	<b>Ketentuan <i>Node</i></b>	
5.	<i>Sampling rate</i>	Min. 100 data per detik
6.	<i>Wireless protocol stack</i>	IEEE 802.11 atau IEEE 802.15
<b>C.</b>	<b>Ketentuan Sinkronisasi</b>	
7.	<i>Delay synchronization</i>	Maks. 50 $\mu\text{S}$
<b>D.</b>	<b>Ketentuan <i>Environmental</i> dan <i>Mechanical</i></b>	
8.	<i>Operating temperature</i>	Min. 0 °C sampai +65 °C

No.	Uraian	Ketentuan
<b>E.</b>	<b>Ketentuan Usia Sensor</b>	
9.	<i>Life-time</i>	Min. 5 tahun

Tabel 7.42.28) Ketentuan sensor *Strain Gauge Outer* tipe *Transducer* komunikasi *wireless*

No.	Uraian	Ketentuan
<b>A.</b>	<b>Ketentuan <i>Strain Gauge</i></b>	
1.	<i>Type</i>	<i>Transducer</i>
2.	<i>Range of measurement</i>	Min. sampai 3000 $\mu\epsilon$
3.	<i>Measurement accuracy</i>	Maks. $\pm 5\%$ <i>Full Scale</i> (FS)
4.	<i>Resolution</i>	Maks. 1 $\mu\epsilon$
<b>B.</b>	<b>Ketentuan <i>Node</i></b>	
5.	<i>Sampling rate</i>	Min. 100 data per detik
6.	<i>Wireless protocol stack</i>	IEEE 802.11 atau IEEE 802.15
<b>C.</b>	<b>Ketentuan Sinkronisasi</b>	
7.	<i>Delay synchronization</i>	Maks. 50 $\mu\text{S}$
<b>D.</b>	<b>Ketentuan <i>Environmental</i> dan <i>Mechanical</i></b>	
8.	<i>Operating temperature</i>	Min. 0 °C sampai +65 °C
9.	<i>Water and dust resistance</i>	Min. <i>Ingress Protection</i> (IP) 67
<b>E.</b>	<b>Ketentuan Usia Sensor</b>	
10.	<i>Life-time</i>	Min. 5 tahun

b) Ketentuan Material Tambahan Sensor *Strain Gauge*

Material tambahan dalam seksi ini mencakup Perekat *Strain Gauge Mount Block*, *Strain Gauge Mount Block*, Bolt, Klem, dan Kabel.

i) Perekat *Strain Gauge Mount Block*

1. Perekat *Strain Gauge Mount Block* digunakan untuk merekatkan *Strain Gauge Mount Block* pada struktur jembatan.
2. Perekat yang digunakan harus mampu merekatkan *Strain Gauge Mount Block* ke struktur jembatan.
3. Tipe perekat yang digunakan adalah *epoxy metal* atau *epoxy concrete*.

ii) *Strain Gauge Mount Block*

*Strain Gauge Mount Block* dipasang pada struktur jembatan dengan menggunakan perekat *epoxy metal* atau *epoxy concrete* dan digunakan untuk dudukan sensor *Strain Gauge*.

iii) *Bolt*

*Bolt* dapat digunakan sebagai alternatif pengganti perekat *Strain Gauge Mount Block*, namun penggunaannya dibatasi yaitu pada lokasi dimana struktur bukan berupa struktur baja dan/atau struktur beton pratekan. Penggunaan sambungan dengan *bolt* harus mendapat persetujuan tertulis dari Pengawas Pekerjaan.

iv) Klem

Klem dapat digunakan sebagai alternatif pengganti perekat *Strain Gauge Mount Block*, namun penggunaannya dibatasi yaitu pada lokasi dimana struktur berupa struktur baja. Penggunaan sambungan dengan klem harus mendapat persetujuan tertulis dari Pengawas Pekerjaan.

v) Kabel

Kabel dibutuhkan untuk menghubungkan dari sensor *Strain Gauge* ke Ruang Monitoring. Ketentuan kabel harus sesuai dengan Spesifikasi ini.

17) Sensor Termometer

a) Ketentuan Sensor Termometer

- i) Sensor Termometer yang digunakan adalah tipe RTD (*Resistance Temperature Detector*) 3 kabel (*full bridge*).
- ii) Penjumlahan data sensor Termometer dilakukan sesuai desain rencana dan dapat diatur dari Pusdatin Kementerian PUPR (*adjustable sampling measurement*).
- iii) Bahan sensor Termometer harus tahan terhadap pengaruh suhu, angin, hujan, dan laut di lingkungan jembatan.
- iv) Sensor Termometer yang digunakan harus memenuhi ketentuan pada Tabel 7.42.29) sampai Tabel 7.42.30).

Tabel 7.42.29) Ketentuan sensor Termometer tipe komunikasi kabel

No.	Uraian	Ketentuan
<b>A.</b>	<b>Ketentuan Termometer</b>	
1.	<i>Range of measurement</i>	Min. 0 °C sampai +80 °C
2.	<i>Measurement accuracy</i>	Maks. $\pm 0,5$ °C
3.	<i>Resolution</i>	Maks. 0,1 °C
<b>B.</b>	<b>Ketentuan Node</b>	
4.	<i>Sampling rate</i>	Min. 1 data per 15 menit
<b>C.</b>	<b>Ketentuan Sinkronisasi</b>	
5.	<i>Delay synchronization</i>	Maks. 50 $\mu$ S
<b>D.</b>	<b>Ketentuan <i>Environmental</i> dan <i>Mechanical</i></b>	
6.	<i>Operating temperature</i>	Min. 0 °C sampai +80 °C
7.	<i>Water and dust resistance</i>	Min. <i>Ingress Protection</i> (IP) 67
<b>E.</b>	<b>Ketentuan Usia Sensor</b>	
8.	<i>Life-time</i>	Min. 5 tahun

Tabel 7.42.30) Ketentuan sensor Termometer tipe komunikasi *wireless*

No.	Uraian	Ketentuan
<b>A.</b>	<b>Ketentuan Termometer</b>	
1.	<i>Range of measurement</i>	Min. 0 °C sampai +80 °C
2.	<i>Measurement accuracy</i>	Maks. $\pm 0,5$ °C
3.	<i>Resolution</i>	Maks. 0,1 °C
<b>B.</b>	<b>Ketentuan Node</b>	
4.	<i>Sampling rate</i>	Min. 1 data per 15 menit
5.	<i>Wireless protocol stack</i>	IEEE 802.11 atau IEEE 802.15
<b>C.</b>	<b>Ketentuan Sinkronisasi</b>	
6.	<i>Delay synchronization</i>	Maks. 50 $\mu$ S
<b>D.</b>	<b>Ketentuan <i>Environmental</i> dan <i>Mechanical</i></b>	
7.	<i>Operating temperature</i>	Min. 0 °C sampai +80 °C
8.	<i>Water and dust resistance</i>	Min. <i>Ingress Protection</i> (IP) 67

No.	Uraian	Ketentuan
<b>E.</b>	<b>Ketentuan Usia Sensor</b>	
9.	<i>Life-time</i>	Min. 5 tahun

b) Ketentuan Material Tambahan Sensor Termometer

Material tambahan sensor Termometer mencakup Sistem Pengikat dan Kabel.

i) Sistem Pengikat

Sistem pengikat sensor Termometer dapat menggunakan perekat atau *bolt* atau klem. *Bolt* dapat digunakan sebagai alternatif perekat, namun penggunaannya dibatasi yaitu pada lokasi dimana struktur bukan berupa struktur baja dan/atau struktur beton pratekan. Klem dapat digunakan sebagai alternatif perekat pada lokasi struktur berupa struktur baja. Penggunaan sistem pengikat dengan *bolt* atau klem harus mendapat persetujuan tertulis dari Pengawas Pekerjaan.

ii) Kabel

Kabel dibutuhkan untuk menghubungkan dari sensor Termometer ke Ruang Monitoring. Ketentuan kabel harus sesuai dengan Spesifikasi ini.

18) Sensor Tiltmeter

a) Ketentuan Sensor Tiltmeter

- i) Penjumlahan data sensor *Tiltmeter* dilakukan sesuai desain rencana dan dapat diatur dari Pusdatin Kementerian PUPR (*adjustable sampling measurement*).
- ii) Bahan sensor *Tiltmeter* harus tahan terhadap pengaruh suhu, angin, hujan, dan laut di lingkungan jembatan.
- iii) Sensor *Tiltmeter* yang digunakan harus memenuhi ketentuan pada Tabel 7.42.31) sampai Tabel 7.42.34).

Tabel 7.42.31) Ketentuan sensor *Tiltmeter* 1-axis tipe komunikasi kabel

No.	Uraian	Ketentuan
<b>A.</b>	<b>Ketentuan Tiltmeter</b>	
1.	<i>Range of measurement</i>	Min. $\pm 10^\circ$
2.	<i>Measurement accuracy</i>	Maks. $\pm 1\%$ Full Scale (FS)
3.	<i>Resolution</i>	Maks. $0,05^\circ$
<b>B.</b>	<b>Ketentuan Node</b>	
4.	<i>Sampling rate</i>	Min. 1 data per 15 menit
<b>C.</b>	<b>Ketentuan Sinkronisasi</b>	
5.	<i>Delay synchronization</i>	Maks. 50 $\mu$ S
<b>D.</b>	<b>Ketentuan Environmental dan Mechanical</b>	
6.	<i>Operating temperature</i>	Min. $0^\circ\text{C}$ sampai $+70^\circ\text{C}$
7.	<i>Water and dust resistance</i>	Min. Ingress Protection (IP) 67
<b>E.</b>	<b>Ketentuan Usia Sensor</b>	
8.	<i>Life-time</i>	Min. 5 tahun



Tabel 7.42.32) Ketentuan sensor *Tiltmeter* 1-axis tipe komunikasi *wireless*

No.	Uraian	Ketentuan
<b>A.</b>	<b>Ketentuan <i>Strain Gauge</i></b>	
1.	<i>Range of measurement</i>	Min. $\pm 10^\circ$
2.	<i>Measurement accuracy</i>	Maks. $\pm 1\%$ Full Scale (FS)
3.	<i>Resolution</i>	Maks. 0,05°
<b>B.</b>	<b>Ketentuan <i>Node</i></b>	
4.	<i>Sampling rate</i>	Min. 1 data per 15 menit
5.	<i>Wireless protocol stack</i>	IEEE 802.11 atau IEEE 802.15
<b>C.</b>	<b>Ketentuan Sinkronisasi</b>	
6.	<i>Delay synchronization</i>	Maks. 50 $\mu$ S
<b>D.</b>	<b>Ketentuan <i>Environmental</i> dan <i>Mechanical</i></b>	
7.	<i>Operating temperature</i>	Min. 0 °C sampai +70 °C
8.	<i>Water and dust resistance</i>	Min. <i>Ingress Protection</i> (IP) 67
<b>E.</b>	<b>Ketentuan Usia Sensor</b>	
9.	<i>Life-time</i>	Min. 5 tahun

Tabel 7.42.33) Ketentuan sensor *Tiltmeter* 2-axis tipe komunikasi kabel

No.	Uraian	Ketentuan
<b>A.</b>	<b>Ketentuan <i>Tiltmeter</i></b>	
1.	<i>Range of measurement</i>	Min. $\pm 10^\circ$
2.	<i>Measurement accuracy</i>	Maks. $\pm 1\%$ Full Scale (FS)
3.	<i>Resolution</i>	Maks. 0,05°
<b>B.</b>	<b>Ketentuan <i>Node</i></b>	
4.	<i>Sampling rate</i>	Min. 1 data per 15 menit
<b>C.</b>	<b>Ketentuan Sinkronisasi</b>	
5.	<i>Delay synchronization</i>	Maks. 50 $\mu$ S
<b>D.</b>	<b>Ketentuan <i>Environmental</i> dan <i>Mechanical</i></b>	
6.	<i>Operating temperature</i>	Min. 0 °C sampai +70 °C
7.	<i>Water and dust resistance</i>	Min. <i>Ingress Protection</i> (IP) 67
<b>E.</b>	<b>Ketentuan Usia Sensor</b>	
8.	<i>Life-time</i>	Min. 5 tahun

Tabel 7.42.34) Ketentuan sensor *Tiltmeter* 2-axis tipe komunikasi *wireless*

No.	Uraian	Ketentuan
<b>A.</b>	<b>Ketentuan <i>Strain Gauge</i></b>	
1.	<i>Range of measurement</i>	Min. $\pm 10^\circ$
2.	<i>Measurement accuracy</i>	Maks. $\pm 1\%$ Full Scale (FS)
3.	<i>Resolution</i>	Maks. 0,05°
<b>B.</b>	<b>Ketentuan <i>Node</i></b>	
4.	<i>Sampling rate</i>	Min. 1 data per 15 menit
5.	<i>Wireless protocol stack</i>	IEEE 802.11 atau IEEE 802.15
<b>C.</b>	<b>Ketentuan Sinkronisasi</b>	
6.	<i>Delay synchronization</i>	Maks. 50 $\mu$ S
<b>D.</b>	<b>Ketentuan <i>Environmental</i> dan <i>Mechanical</i></b>	
7.	<i>Operating temperature</i>	Min. 0 °C sampai +70 °C
8.	<i>Water and dust resistance</i>	Min. <i>Ingress Protection</i> (IP) 67
<b>E.</b>	<b>Ketentuan Usia Sensor</b>	
9.	<i>Life-time</i>	Min. 5 tahun

b) Ketentuan Material Tambahan Sensor *Tiltmeter*

Material tambahan sensor *Tiltmeter* mencakup *Bracket Mounting*, Sistem Pengikat dan Kabel.

i) *Bracket Mounting*

1. *Bracket mounting* dipasang pada struktur jembatan dengan menggunakan *fischer bolt* dan digunakan untuk dudukan sensor *Tiltmeter*.
2. *Bracket mounting* dipasang pada permukaan struktur jembatan dengan posisi sudut sesuai dengan sudut kemiringan struktur yang akan diamati.

ii) Sistem Pengikat

Sistem pengikat sensor *Tiltmeter* dapat menggunakan perekat atau *bolt* atau klem. *Bolt* dapat digunakan sebagai alternatif perekat, namun penggunaannya dibatasi yaitu pada lokasi dimana struktur bukan berupa struktur baja dan/atau struktur beton pratekan. Klem dapat digunakan sebagai alternatif perekat pada lokasi struktur berupa struktur baja. Penggunaan sistem pengikat dengan *bolt* atau klem harus mendapat persetujuan tertulis dari Pengawas Pekerjaan.

iii) Kabel

Kabel dibutuhkan untuk menghubungkan dari sensor *Tiltmeter* ke Ruang Monitoring. Ketentuan kabel harus sesuai dengan Spesifikasi ini.

19) Lampu Peringatan

a) Ketentuan Lampu Peringatan

- i) Setiap warna lampu peringatan mewakili parameter *threshold* dari sensor Anemometer, *Rain Gauge* dan *Accelerometer*.
- ii) *Threshold* kecepatan angin bagi pengguna jembatan terdiri dari:
  1. Bagi pengemudi kendaraan roda dua diatur dalam 3 kondisi, yaitu lampu peringatan berwarna hijau pada kecepatan angin normal (0 – 30 km/jam), berwarna kuning dan berkedip pada kecepatan angin 30 – 40 km/jam dan berwarna merah dan berkedip pada kecepatan angin diatas 40 km/jam.
  2. Bagi pengemudi kendaraan roda empat diatur dalam 3 kondisi, yaitu lampu peringatan berwarna hijau pada kecepatan angin normal (0 – 40 km/jam), berwarna kuning dan berkedip pada kecepatan angin 40 – 60 km/jam dan berwarna merah dan berkedip pada kecepatan angin diatas 60 km/jam.
  3. Bagi pejalan kaki dan pengendara sepeda, lampu peringatan berwarna merah dan berkedip pada kecepatan angin diatas 27 km/jam.
- iii) *Threshold* getaran bagi pengguna jembatan yaitu lampu peringatan akan berwarna merah dan berkedip saat terjadi gempa dan/atau saat getaran struktur melebihi ambang batas yang direncanakan.
- iv) Lampu peringatan harus tersinkronisasi dengan parameter *threshold* kecepatan angin dari sensor Anemometer dan getaran dari sensor *Accelerometer* dan Seismometer serta dilengkapi dengan tulisan berjalan otomatis (*running text*) untuk informasi ke pengguna jembatan.

- v) Lampu Peringatan harus tahan terhadap pengaruh suhu, angin, hujan, dan laut di lingkungan jembatan.
- vi) Lampu Peringatan harus mampu mengeluarkan bunyi tanda bahaya kepada pengguna jembatan.
- vii) Lampu peringatan yang digunakan harus memenuhi ketentuan pada Tabel 7.42.35).

Tabel 7.42.35) Ketentuan Lampu Peringatan

No.	Uraian	Ketentuan
<b>A.</b>	<b>Ketentuan Lampu</b>	
1.	<i>Color</i>	Min. Merah ( <i>Red</i> ), Kuning ( <i>Amber</i> ) dan Hijau ( <i>Green</i> )
<b>B.</b>	<b>Ketentuan Sinkronisasi</b>	
2.	<i>Delay synchronization</i>	Maks. 50 $\mu$ S
<b>C.</b>	<b>Ketentuan <i>Environmental</i> dan <i>Mechanical</i></b>	
3.	<i>Operating temperature</i>	Min. 0 °C sampai +65 °C
4.	<i>Water and dust resistance</i>	Min. <i>Ingress Protection</i> (IP) 65
<b>D.</b>	<b>Ketentuan Usia Sensor</b>	
5.	<i>Life-time</i>	Min. 5 tahun

b) Ketentuan Material Tambahan Lampu Peringatan

Material tambahan Lampu Peringatan mencakup *Mounting* Lampu Peringatan, Sistem Pengikat dan Kabel.

i) *Mounting* Lampu Peringatan

Lampu Peringatan dipasang pada pipa *stainless steel*.

ii) Sistem Pengikat

Sistem pengikat Lampu Peringatan dapat menggunakan perekat atau *bolt* atau klem. *Bolt* dapat digunakan sebagai alternatif perekat, namun penggunaannya dibatasi yaitu pada lokasi dimana struktur bukan berupa struktur baja dan/atau struktur beton pratekan. Klem dapat digunakan sebagai alternatif perekat pada lokasi struktur berupa struktur baja. Penggunaan sistem pengikat dengan *bolt* atau klem harus mendapat persetujuan tertulis dari Pengawas Pekerjaan.

iii) Kabel

Kabel dibutuhkan untuk menghubungkan dari Lampu Peringatan ke Ruang Monitoring. Ketentuan kabel harus sesuai dengan Spesifikasi ini.

20) Kabel

a) Ketentuan Kabel Sensor

- i) Apabila tidak disediakan oleh Penyedia Jasa, maka ketentuan pada Tabel 7.42.36) dapat digunakan.
- ii) Jumlah konduktor kabel sensor disesuaikan dengan kebutuhan koneksi sensor yang bersangkutan.
- iii) Kabel sensor yang digunakan harus beroperasi dengan baik.

Tabel 7.42.36) Ketentuan Kabel Sensor

No.	Uraian	Ketentuan
<b>Ketentuan Kabel Sensor</b>		
1.	<i>Insulation material</i>	Min. <i>semi rigid polyvinyl chloride (S-R PVC)</i>
2.	<i>Outer shield</i>	Min. <i>aluminum foil polyester tape (100% coverage)</i> TC <i>tinned copper (65% coverage)</i>
3.	<i>Outer jacket</i>	Min. <i>PVC jacket</i>

b) Ketentuan Kabel Power

Kabel *power* yang digunakan harus mampu mengalirkan daya listrik ke seluruh sensor yang terpasang dengan baik. Persyaratan tambahan kabel *power* harus sesuai dengan ketentuan pada Tabel 7.42.37).

Tabel 7.42.37) Ketentuan Kabel Power

No.	Uraian	Ketentuan
<b>A.</b>	<b>Ketentuan Perlindungan</b>	
1.	<i>Insulation thickness</i>	Min. 1 mm
2.	<i>Outer sheath thickness</i>	Min. 1,4 mm
<b>B.</b>	<b>Ketentuan Ketahanan</b>	
3.	<i>Direct current resistance at 20 °C</i>	<i>Conductor</i> Min. 1,15 ohm/Km <i>Insulation</i> Min. 40 M.ohm/Km

c) Ketentuan Kabel Data

- Apabila tidak disediakan oleh Penyedia Jasa, maka ketentuan pada Tabel 7.42.38) dapat digunakan.
- Jumlah konduktor kabel data disesuaikan dengan kebutuhan koneksi sensor yang bersangkutan.
- Jenis kabel data yang digunakan adalah kabel *fiber optic* (FO).
- Kabel FO adalah saluran transmisi yang terbuat dari kaca atau plastik yang sangat halus dan lebih kecil dari sehelai rambut, dan dapat digunakan untuk mentransmisikan sinyal cahaya dari suatu tempat ke tempat lainnya. Sumber cahaya yang digunakan biasanya adalah laser atau LED.
- Kabel data yang digunakan harus beroperasi dengan baik.

Tabel 7.42.38) Ketentuan Kabel Data

No.	Uraian	Ketentuan
<b>A.</b>	<b>Ketentuan Kabel <i>Fiber Optic</i> (FO)</b>	
1.	<i>Type</i>	<i>Outdoor</i>
2.	<i>Number of cores</i>	Min. 4 cores
3.	<i>Mode</i>	Min. <i>single mode optical fibers</i>
4.	<i>UV resistance</i>	Min. <i>black UV polyethylene (PE)</i>
5.	<i>Outer jacker</i>	Min. <i>low smoke PVC</i>
<b>B.</b>	<b>Ketentuan <i>Environmental</i></b>	
6.	<i>Operating temperature</i>	Min. 0 °C sampai +70 °C

d) Ketentuan Kabel Grounding

Kabel *grounding* yang digunakan harus mampu mengalirkan imbas tegangan lebih pada jalur *grounding smart rack* menuju jalur pembumian pada semua perangkat data *processing* dan *networking* dengan baik. Persyaratan tambahan kabel *grounding* harus sesuai dengan ketentuan pada Tabel 7.42.39).

Tabel 7.42.39) Ketentuan Kabel *Grounding*

No.	Uraian	Ketentuan
<b>Ketentuan Kabel <i>Grounding</i></b>		
1.	<i>Nominal CSA</i>	Min. 100 mm <sup>2</sup>
2.	<i>PVC insulation</i>	Min. 9,1 mm
3.	<i>Physical characteristics</i>	Min. <i>flexible bunched annealed copper conductor</i>
4.	<i>Outer jacket</i>	Min. <i>PVC jacket</i>

e) Ketentuan Kabel UTP

Kabel UTP yang digunakan harus mampu menghubungkan perangkat server data *processing* dengan perangkat *networking* sehingga tersusun sistem jaringan *Local Area Network* (LAN). Persyaratan tambahan kabel UTP harus memenuhi ketentuan pada tabel 7.42.40).

Tabel 7.42.40) Ketentuan Kabel UTP

No.	Uraian	Ketentuan
<b>A.</b>	<b>Ketentuan Kabel UTP</b>	
1.	<i>Data category</i>	Min. LTE Cat 6
2.	<i>Outer jacker</i>	Min. <i>low smoke PVC</i>
<b>B.</b>	<b>Ketentuan Environmental</b>	
3.	<i>Operating temperature</i>	Min. 0 °C sampai +70 °C

f) Ketentuan Material Tambahan Kabel

Material tambahan pada Kabel mencakup *Junction Box*, Pipa Galvanis, Pipa PVC dan Rel Gantungan.

Kabel harus tahan terhadap pengaruh suhu, angin, hujan, dan laut di lingkungan jembatan.

21) DAU/DAQ

a) Ketentuan DAU/DAQ

- DAU/DAQ memiliki unit multiplexer atau memiliki jumlah *input/output* (I/O) sesuai dengan kebutuhan pengukuran semua sensor.
- DAU/DAQ yang digunakan mampu menerima data secara kabel dan *wireless*.
- DAU/DAQ yang digunakan harus memenuhi ketentuan pada Tabel 7.42.41).

Tabel 7.42.41) Ketentuan DAU/DAQ

No.	Uraian	Ketentuan
<b>A.</b>	<b>Ketentuan DAU</b>	
1.	<i>Amount of data</i>	Min. 250 data per detik
2.	<i>Measurement accuracy</i>	Maks. $\pm 1\%$
<b>B.</b>	<b>Ketentuan <i>Programming Interface</i></b>	
3.	<i>Programming interface</i>	Web Interface, HTTP Query
<b>C.</b>	<b>Ketentuan <i>Environmental</i> dan <i>Mechanical</i></b>	
4.	<i>Operating temperature</i>	Min. 0 °C sampai +50 °C
5.	<i>Water and dust resistance</i>	Min. <i>Ingress Protection (IP)</i> 65
<b>D.</b>	<b>Ketentuan Usia DAU</b>	
6.	<i>Life-time</i>	Min. 5 tahun

b) Ketentuan *Point to Point Wireless*

- i) *Point to point wireless* merupakan metode transmisi utama antara keseluruhan peralatan di jembatan ke Ruang Monitoring.
- ii) Pada ruang monitoring ditempatkan *wireless controller* untuk melakukan pengaturan dan mode pengiriman pada *Gateway* yang terletak sesuai dengan Gambar.
- iii) Konfigurasi *Gateway* sedemikian sehingga setiap sensor dapat terhubung dengan *Gateway* yang memiliki sinyal terkuat dan meminimalisir terjadinya *blank spot* di jembatan. Konfigurasi tersebut akan mengirimkan sinyal *wireless* dalam satu *Service Set Identifier (SSID)* yang sama.
- iv) Antena *point to point wireless* diarahkan sedemikian rupa sehingga data yang dikirimkan memiliki *throughput* tertinggi.
- v) *Point to point wireless* yang digunakan harus mampu menangkap transmisi data dari sensor dengan delay sinkronisasi maksimum 50  $\mu$ S dan beroperasi dengan baik.

c) Ketentuan *Wireless Controller*

- i) *Wireless Controller* merupakan peralatan untuk melakukan konfigurasi keseluruhan *Gateway* dan *access point*.
- ii) *Wireless Controller* yang digunakan dapat diatur tingkat keamanan akses nirkabel peralatan yang ada di jembatan.
- iii) *Wireless Controller* yang digunakan harus mampu berkomunikasi dengan sensor dengan delay sinkronisasi maksimum 50  $\mu$ S dan beroperasi dengan baik.

d) Ketentuan DAU/DAQ Sensor EM

- i) DAU sensor EM memiliki unit multiplexer atau memiliki jumlah I/O sesuai dengan kebutuhan pengukuran *force* pada *stay cable*.
- ii) DAU sensor EM yang digunakan harus memenuhi ketentuan pada Tabel 7.42.42).



Tabel 7.42.42) Ketentuan DAU sensor EM tipe komunikasi *wireless*

No.	Uraian	Ketentuan
<b>A.</b>	<b>Ketentuan DAU sensor EM</b>	
1.	<i>Sampling rate</i>	Min. 1000 data per detik
2.	<i>Measurement accuracy</i>	Maks. $\pm 1\%$
<b>B.</b>	<b>Ketentuan Node</b>	
3.	<i>Wireless protocol stack</i>	IEEE 802.11 atau IEEE 802.15
<b>C.</b>	<b>Ketentuan Sinkronisasi</b>	
4.	<i>Delay synchronization</i>	Maks. 50 $\mu$ S
<b>D.</b>	<b>Ketentuan <i>Environmental</i> dan <i>Mechanical</i></b>	
5.	<i>Operating temperature</i>	Min. 0 °C sampai +65 °C
6.	<i>Water and dust resistance</i>	Min. <i>Ingress Protection</i> (IP) 65
<b>E.</b>	<b>Ketentuan Usia DAU sensor EM</b>	
7.	<i>Life-time</i>	Min. 5 tahun

e) Ketentuan *Interface Module*

- i) *Interface Module* memiliki sejumlah I/O sesuai dengan kebutuhan pengukuran semua sensor.
- ii) *Interface Module* yang digunakan harus memenuhi ketentuan pada Tabel 7.42.43).

Tabel 7.42.43) Ketentuan *Interface Module*

No.	Uraian	Ketentuan
<b>A.</b>	<b>Ketentuan <i>Interface Module</i></b>	
1.	<i>Sampling rate</i>	Min. 1000 data per detik
2.	<i>Measurement accuracy</i>	Maks. $\pm 1\%$
3.	<i>Frequency range</i>	0 sampai 10 kHz
<b>B.</b>	<b>Ketentuan Sinkronisasi</b>	
4.	<i>Delay synchronization</i>	Maks. 50 $\mu$ S
<b>C.</b>	<b>Ketentuan <i>Environmental</i> dan <i>Mechanical</i></b>	
5.	<i>Water and dust resistance</i>	Min. <i>Ingress Protection</i> (IP) 67
<b>D.</b>	<b>Ketentuan Usia DAU</b>	
6.	<i>Life-time</i>	Min. 5 tahun

f) Ketentuan *Test Controller*

- i) *Test Controller* yang digunakan mampu mengumpulkan, mengolah, menampilkan data, pelaporan dan sebagai *gateway* sebelum masuk ke server atau jaringan.
- ii) *Test Controller* yang digunakan harus memenuhi ketentuan pada tabel 7.42.44).

Tabel 7.42.44) Ketentuan *Test Controller*

No.	Uraian	Ketentuan
<b>A.</b>	<b>Ketentuan Sinkronisasi</b>	
1.	<i>Delay synchronization</i>	Maks. 50 $\mu$ S
<b>B.</b>	<b>Ketentuan <i>Environmental</i> dan <i>Mechanical</i></b>	
2.	<i>Operating temperature</i>	Min. 0 °C sampai +65 °C

No.	Uraian	Ketentuan
3.	<i>Water and dust resistance</i>	Min. <i>Ingress Protection (IP) 67</i>
<b>C. Ketentuan Usia DAU</b>		
4.	<i>Life-time</i>	Min. 5 tahun

g) DAU/DAQ harus tahan terhadap pengaruh suhu, angin, hujan, dan laut di lingkungan jembatan.

h) Ketentuan Material Tambahan DAU/DAQ

Material tambahan DAU/DAQ mencakup *Box Enclosure* dan Kabel.

i) *Box Enclosure*

1. *Box Enclosure* digunakan untuk melindungi peralatan DAU/DAQ dari pengaruh lingkungan di sekitar jembatan.
2. *Box Enclosure* terbuat dari *stainless steel* dengan tingkat proteksi *Ingress Protection (IP) 67* dan dilengkapi dengan *surge protection*.
3. Apabila *Box Enclosure* dilekatkan pada struktur jembatan maka tidak diizinkan menggunakan sambungan yang dapat merusak struktur jembatan.

ii) Kabel

Kabel dibutuhkan untuk menghubungkan DAU/DAQ ke Ruang Monitoring. Ketentuan kabel harus sesuai dengan Spesifikasi ini.

22) WSN Gateway

a) Ketentuan WSN Gateway

- i) WSN Gateway IEEE 802.11 berkomunikasi dengan WSN dengan topologi *point to point*.
- ii) Gateway pada posisi paling dekat dengan ruang monitoring di atur dengan mode RAP (*Root Access Point*) dan Gateway yang lain diatur dengan mode *point to point*.
- iii) Alat WSN Gateway IEEE 802.11 yang digunakan harus memenuhi ketentuan pada Tabel 7.42.45).

Tabel 7.42.45) Ketentuan Alat WSN Gateway IEEE 802.11

No.	Uraian	Ketentuan
<b>A. Ketentuan <i>Wireless Local Area Network (WLAN) Interface</i></b>		
1.	<i>Wireless protocol stack</i>	Min. IEEE 802.11 a/b/g/n, IEEE 802.11i, IEEE 802.3, IEEE 802.3u, IEEE 802.3ab, IEEE 802.3af, IEEE 802.1D, IEEE 802.1w, IEEE 802.1Q
2.	<i>Security</i>	Min. SSID Broadcast, Firewall for Internet Protocol (IP) /Port-based filtering, 64-bit dan 128-bit WEP Encryption, WPA/WPA2 Personal dan Enterprises

No.	Uraian	Ketentuan
<b>B.</b>	<b>Ketentuan <i>Protocol Support</i></b>	
3	<i>General protocol</i>	Min. <i>Proxy ARP</i> , DNS, HTTP, HTTPS, IP, ICMP, SNTP, TCP, UDP, RADIUS, SNMP, DHCP, VLAN, STP/RSTP
<b>C.</b>	<b>Ketentuan Sinkronisasi</b>	
4.	<i>Delay synchronization</i>	Maks. 50 $\mu$ S
<b>D.</b>	<b>Ketentuan <i>Environmental</i> dan <i>Mechanical</i></b>	
5.	<i>Operating temperature</i>	Min. 0 °C sampai +65 °C
6.	<i>Water and dust resistance</i>	Min. <i>Ingress Protection (IP)</i> 67

- iv) WSN Gateway IEEE 802.15 berkomunikasi dengan WSN dengan topologi *peer to peer* atau *star*.
- v) Gateway pada posisi paling dekat dengan ruang monitoring di atur dengan mode RAP (*Root Access Point*) dan Gateway yang lain diatur dengan mode MAP (*Mesh Access Point*).
- vi) Alat WSN Gateway IEEE 802.15 yang digunakan harus memenuhi ketentuan pada Tabel 7.42.46).

Tabel 7.42.46) Ketentuan Alat WSN Gateway IEEE 802.15

No.	Uraian	Ketentuan
<b>A.</b>	<b>Ketentuan <i>Wireless Local Area Network (WLAN) Interface</i></b>	
1.	<i>Wireless protocol stack</i>	Min. IEEE 802.15
2.	<i>Security</i>	Min. SSID <i>Broadcast</i> , 128-bit <i>Advanced Encryption Standard (AES)</i>
<b>B.</b>	<b>Ketentuan <i>Protocol Support</i></b>	
3	<i>General protocol</i>	Min. <i>Client TCP/IP</i> , UDP, DNS, DHCP
<b>C.</b>	<b>Ketentuan Sinkronisasi</b>	
4.	<i>Delay synchronization</i>	Maks. 50 $\mu$ S
<b>D.</b>	<b>Ketentuan <i>Environmental</i> dan <i>Mechanical</i></b>	
5.	<i>Operating temperature</i>	Min. 0 °C sampai +65 °C
6.	<i>Water and dust resistance</i>	Min. <i>Ingress Protection (IP)</i> 67

- vii) Konfigurasi Gateway sedemikian sehingga setiap sensor dapat terhubung dengan Gateway yang memiliki sinyal terkuat dan meminimalisir terjadinya *blank spot* di jembatan. Konfigurasi tersebut akan mengirimkan sinyal *wireless* dalam satu *Service Set Identifier (SSID)* yang sama.

b) Ketentuan Material Tambahan WSN Gateway

i) Box Enclosure

1. *Box Enclosure* digunakan untuk melindungi peralatan WSN Gateway dari pengaruh lingkungan di sekitar jembatan.
2. *Box Enclosure* terbuat dari *stainless steel* dengan tingkat proteksi *Ingress Protection (IP)* 67 dan dilengkapi dengan *surge protection*.
3. Apabila *Box Enclosure* dilekatkan pada struktur jembatan maka tidak diizinkan menggunakan sambungan yang dapat merusak struktur jembatan.

ii) Kabel

Kabel dibutuhkan untuk menghubungkan WSN Gateway ke Ruang Monitoring. Ketentuan kabel harus sesuai dengan Spesifikasi ini.

23) Unit Integrasi Sistem

a) Ketentuan Database Server

- i) *Database server* adalah *server* yang melakukan pekerjaan mengolah data, menyimpan data, menampilkan data dan menyiapkan laporan data hasil pengukuran semua sensor.
- ii) Perangkat lunak *database server* yang digunakan minimal terdiri dari modul *database* untuk penyimpan data, modul *user interface*, modul *data show*, modul kontrol dan algoritma *processing* yang berfungsi untuk pengolahan data, menampilkan data dan pelaporan data.
- iii) Modul pengolah data, modul antarmuka operator (penampil data) dan modul pelaporan harus dapat dikembangkan untuk tetap mampu berkomunikasi dengan bahasa pemrograman *web*.
- iv) Perangkat keras *database server* yang digunakan harus mampu menyimpan data dan mengoperasikan perangkat lunak *database server* dengan baik.

b) Ketentuan Backup Server

- i) *Backup server* adalah *server* yang bertugas untuk mengkoordinasi pekerjaan *backup* data-data penting termasuk *database* dari komputer yang ada di jaringan ke dalam *back-up storage*.
- ii) Perangkat lunak *backup server* yang digunakan harus dapat melakukan pekerjaan *backup* secara otomatis berdasarkan *schedule* waktu dan secara manual.
- iii) Perangkat keras *backup server* yang digunakan harus mampu menyimpan data dari *database server* dan mengoperasikan perangkat lunak *backup server* dengan baik.

c) Ketentuan Back-up Storage

*Back-up storage* yang digunakan harus memiliki kapasitas menyimpan data serta terhubung pada perangkat keras *backup server* dan perangkat keras eksternal lainnya serta beroperasi dengan baik.

d) Ketentuan Manageable Switch

- i) *Manageable switch* adalah *switching* data yang dipakai untuk menyusun jaringan (LAN).
- ii) *Manageable switch* yang digunakan harus mampu menghubungkan seluruh perangkat *server data processing* dan *network* dan beroperasi dengan baik.

e) Ketentuan Router

- i) *Router* adalah perangkat yang menghubungkan jaringan lokal (*Local Area Network/LAN*) dengan jaringan global (*Wide Area Network/WAN*).
- ii) Router yang digunakan minimal tipe *edge router* yang memiliki kemampuan melayani koneksi dengan *Internet Service Provider* (ISP).
- iii) *Router* yang digunakan harus memiliki kemampuan proteksi berupa *firewall* dan *Virtual Proxy Network* (VPN).
- iv) *Router* yang digunakan harus dilindungi dan beroperasi dengan baik.

f) Ketentuan Sistem Aplikasi MKS

- i) Sistem aplikasi yang dibuat oleh Penyedia Jasa harus dapat menginformasikan seluruh data dari sensor yang dipasang pada area jembatan.
- ii) Sistem aplikasi yang dibuat harus terkoneksi langsung dan kompatibel dengan sistem di Pusdatin Kementerian PUPR dan sistem IMKJ di Subdit Pemantauan dan Evaluasi, Direktorat Jembatan, Kementerian PUPR.
- iii) Keluaran (*output*) sistem aplikasi MKS harus mampu mensinkronisasikan data pengukuran beberapa sensor berdasarkan sinkronisasi waktu (*clock synchronization*).
- iv) Sinkronisasi data pengukuran (*time stamp*) minimal dilakukan pada beberapa sensor yang akan digunakan sebagai data untuk analisis struktur jembatan:
  - 1. Getaran dari sensor *Accelerometer/Seismometer*;
  - 2. Defleksi dari GPS/ sensor DMM;
  - 3. Tegangan kabel dari sensor EM/*Load Cell*; dan
  - 4. Regangan dari sensor *Strain Gauge*.
- v) Data pengukuran yang telah disinkronisasikan (*time stamp*) disesuaikan dengan kebutuhan Pusdatin Kementerian PUPR, dikirim ke Pusdatin Kementerian PUPR dan diteruskan ke program IMKJ Subdit Pemantauan dan Evaluasi Direktorat Jembatan.
- vi) Pengiriman data secara langsung (*direct*) ke Pusdatin Kementerian PUPR dilakukan secara *real-time* apabila batas atas (*threshold*) suatu sensor terlampaui dan disertai dengan sistem peringatan/*alert*.
- vii) Sensor yang dapat menjadi *trigger* sensor lain apabila batas atas (*threshold*) tercapai yaitu:
  - 1. Kecepatan angin dari sensor Anemometer;
  - 2. Getaran dari sensor *Accelerometer/Seismometer*;
  - 3. Defleksi dari GPS/sensor DMM;
  - 4. Tegangan kabel dari EM sensor/*Load Cell*; dan
  - 5. Regangan dari sensor *Strain Gauge*.

g) Buku Manual Operasi dan Pemeliharaan

- i) Penyedia Jasa harus menyediakan dan memberikan Buku Manual Operasi dan Pemeliharaan seluruh Unit Sistem MKS Jembatan yang digunakan yaitu dari Unit Sensor, Unit Akuisisi Data, Unit Pengolahan Data, Unit Integrasi Sistem dan Ruang Monitoring.
- ii) Penyedia Jasa harus melakukan sosialisasi dan/atau pelatihan selama 1 (satu) tahun.

h) Ketentuan Material Tambahan Unit Integrasi Sistem

Material tambahan Unit Integrasi Sistem mencakup Sistem Pengikat dan Kabel.

i) Sistem Pengikat

Apabila komponen Unit Integrasi Sistem tidak diikatkan pada struktur jembatan, dapat menggunakan sistem baut atau *bolt* atau perekat atas persetujuan tertulis Pengawas Pekerjaan.

ii) Kabel

Kabel dibutuhkan untuk menghubungkan Unit Integrasi Sistem ke Ruang Monitoring. Ketentuan kabel harus sesuai dengan Spesifikasi ini.

### SKh-1.7.42.3 PELAKSANAAN

- 1) Unit Sensor/Unit Akuisisi Data dipasang setelah semua proses FAT dan SAT dilakukan dan dibuktikan dengan persetujuan tertulis dari Pengawas Pekerjaan.
- 2) Unit Integrasi Sistem/Ruang Monitoring dipasang setelah proses *Pre-commissioning test* dilakukan dan dibuktikan dengan persetujuan tertulis dari Pengawas Pekerjaan dan diperiksa saat *Commissioning test*.
- 3) Penyedia Jasa harus menyerahkan jadwal pelaksanaan, prosedur dan metode pemasangan, *shop drawing* pemasangan, serta manual operasi dan pemeliharaan Unit Sensor/Unit Akuisisi Data/Unit Integrasi Sistem/Ruang Monitoring kepada Pengawas Pekerjaan dan harus mendapat persetujuan tertulis dari Pengawas Pekerjaan.
- 4) Apabila terjadi kesalahan atau kekeliruan posisi Unit Sensor/Unit Akuisisi Data/Unit Integrasi Sistem/perangkat di dalam Ruang Monitoring yang dipasang, maka Penyedia Jasa harus memperbaiki sesuai dengan Gambar.
- 5) Pemasangan Unit Sensor/Unit Akuisisi Data/Unit Integrasi Sistem harus memperhatikan kondisi cuaca. Kerusakan Unit Sensor/Unit Akuisisi Data/Unit Integrasi Sistem yang diakibatkan oleh cuaca pada saat pemasangan merupakan tanggung jawab Penyedia Jasa.
- 6) Khusus Kabel *Power* dan Kabel Data diberi perlindungan dengan pipa PVC atau pipa HDPE.
- 7) Integrasi sistem dilakukan dengan mensinkronisasikan data pengukuran (*time stamp*) beberapa sensor berdasarkan sinkronisasi waktu (*clock synchronization*).
- 8) Apabila ada hal-hal yang tidak tercantum dalam Spesifikasi ini terkait pekerjaan pemasangan Unit Sensor/Unit Akuisisi Data/Unit Integrasi Sistem/Ruang Monitoring, maka Penyedia Jasa harus meminta persetujuan tertulis dari Pengawas Pekerjaan.



#### SKh-1.7.42.4 PENGENDALIAN MUTU

1) Jaminan Mutu

Mutu bahan yang dipasok, kecakapan kerja dan hasil penyelesaian harus diawasi dan dikendalikan seperti yang ditetapkan dalam Spesifikasi ini.

2) Mutu Pekerjaan dan Perbaikan Atas Pekerjaan yang Tidak Memenuhi Ketentuan

- a) Setiap sensor dan material tambahan yang mengalami kerusakan internal maupun pemasangan yang tidak semestinya atau tidak sesuai dengan Spesifikasi, harus diperbaiki dan dibiayai oleh Penyedia Jasa.
- b) Apabila *output* MKS Jembatan tidak memenuhi kebutuhan yang dipersyaratkan dalam Spesifikasi ini, maka Penyedia Jasa wajib melakukan perbaikan atau penggantian sistem hingga kebutuhan *output* MKS Jembatan terpenuhi dengan biaya Penyedia Jasa.

3) Output Sistem MKS Jembatan

*Output* dari sistem MKS Jembatan berupa tampilan hasil pemantauan struktur jembatan dilayar monitor secara teks dan grafis serta bentuk laporan yang siap dicetak.

*Output* dari sistem minimal harus memuat beberapa hal berikut ini:

a) Tegangan dan Regangan Struktur

Syarat-syarat minimum yang harus dipenuhi dalam penyajian hasil sensor pengukur tegangan struktur adalah:

- i) Satuan pengukuran regangan komponen struktur jembatan adalah *strain*.
- ii) Satuan pengukuran tegangan komponen struktur jembatan adalah MPa (N/mm<sup>2</sup>).
- iii) Informasi nilai tegangan struktur dalam berbagai variasi waktu.
- iv) Data nilai maksimum dan minimum dari tegangan yang terjadi berdasarkan lokasi sensor.
- v) Perbandingan antara nilai tegangan rencana terhadap nilai tegangan aktual.
- vi) Sistem peringatan apabila nilai tegangan dan regangan yang diukur melebihi ambang batas (*threshold*) berdasarkan kebutuhan perencanaan.

b) Akselerasi/Percepatan

Syarat-syarat minimum yang harus dipenuhi dalam penyajian hasil sensor pengukur akselerasi/percepatan adalah:

- i) Satuan pengukuran akselerasi/percepatan adalah percepatan gravitasi/*acceleration* (g).
- ii) Menentukan mode getar struktur dari ragam getar operasional jembatan (*mode shape*).
- iii) Nilai frekuensi alamiah (frekuensi natural) dari struktur yang diturunkan dari grafik waktu percepatan.
- iv) Perbandingan nilai frekuensi alamiah aktual dengan nilai frekuensi alamiah awal jembatan saat *Commissioning test* sistem MKS Jembatan.

- v) Sistem peringatan apabila nilai mutlak frekuensi yang diukur melebihi nilai ambang batas (*threshold*) berdasarkan kebutuhan perencanaan.
- c) Lendutan
- Syarat-syarat minimum yang harus dipenuhi dalam penyajian hasil sensor pengukur lendutan adalah:
- Satuan pengukuran lendutan adalah milimeter (mm).
  - Data nilai maksimum dan minimum dari lendutan yang terjadi.
  - Perbandingan nilai lendutan aktual dengan nilai lendutan rencana struktur.
  - Sistem peringatan apabila nilai lendutan yang diukur melebihi ambang batas (*threshold*) berdasarkan kebutuhan perencanaan.
- d) Kemiringan *Pylon*
- Syarat-syarat minimum yang harus dipenuhi dalam penyajian hasil sensor pengukur kemiringan *pylon* adalah:
- Satuan pengukuran kemiringan adalah derajat ( $^{\circ}$ ) dan/atau *displacement*.
  - Data nilai maksimum dan minimum dari kemiringan pylon (*pylon*) dan pilar (*pier*) yang terjadi.
  - Perbandingan nilai kemiringan aktual dengan nilai kemiringan rencana struktur.
  - Sistem peringatan apabila nilai kemiringan yang diukur melebihi ambang batas (*threshold*) berdasarkan kebutuhan perencanaan.
- e) Temperatur dan Kelembaban Udara
- Syarat-syarat minimum yang harus dipenuhi dalam penyajian hasil sensor pengukur temperatur dan kelembaban udara adalah:
- Satuan pengukuran temperatur adalah Celcius ( $^{\circ}\text{C}$ ).
  - Satuan pengukuran kelembaban udara adalah Humidity (%).
  - Informasi nilai maksimum, minimum dan rata-rata dari temperatur udara di luar.
  - Grafik variasi temperatur udara dalam berbagai waktu (jam-an, harian, bulanan dan tahunan)
  - Perbandingan temperatur udara rencana dan temperatur udara aktual.
- f) Kecepatan dan Tekanan Angin
- Syarat-syarat minimum yang harus dipenuhi dalam penyajian hasil sensor pengukur kecepatan dan tekanan angin adalah:
- Satuan pengukuran kecepatan angin adalah kilometer per jam (km/jam).
  - Satuan pengukuran arah angin adalah derajat ( $^{\circ}$ ).
  - Informasi kecepatan angin yang terjadi di dek jembatan untuk kepentingan keamanan pengendara.
  - Tampilan program harus memuat informasi kecepatan angin vs sudut serang vs sudut azimuth.
  - Kecepatan angin rata-rata setiap 10 menit.
  - Perbandingan kecepatan angin rencana dan kecepatan angin aktual yang terjadi.

- vii) Sistem peringatan apabila nilai kecepatan angin yang diukur melebihi ambang batas (*threshold*) berdasarkan kebutuhan perencanaan.
- g) Gaya dan Tegangan Kabel
- Syarat-syarat minimum yang harus dipenuhi dalam penyajian hasil sensor pengukur tegangan kabel adalah:
- Satuan pengukuran gaya kabel adalah kN.
  - Satuan pengukuran tegangan kabel adalah MPa (N/mm<sup>2</sup>).
  - Informasi nilai gaya atau tegangan kabel dalam berbagai variasi waktu.
  - Data nilai maksimum dan minimum dari tegangan yang terjadi berdasarkan lokasi sensor.
  - Perbandingan antara nilai tegangan rencana terhadap nilai tegangan aktual.
  - Sistem peringatan apabila nilai tegangan yang diukur melebihi ambang batas (*threshold*) berdasarkan kebutuhan perencanaan.
- h) Getaran Gempa
- Syarat-syarat minimum yang harus dipenuhi dalam penyajian hasil sensor pengukur getaran gempa adalah:
- Satuan pengukuran getaran gempa adalah percepatan gravitasi/*acceleration* (g).
  - Data skala besar gempa berupa Magnitude (M) sebagai *raw data* dan Skala Richter (SR) yang ditampilkan pada Ruang Monitoring.
  - Grafik percepatan yang terjadi di dasar pilon.
  - Sistem peringatan apabila getaran gempa yang diukur melebihi ambang batas (*threshold*) berdasarkan kebutuhan perencanaan.

#### SKh-1.7.42.5 PENGUKURAN DAN PEMBAYARAN

##### 1) Pengukuran

Kuantitas sensor Unit Sensor/Unit Akuisisi Data/Unit Integrasi Sistem/Ruang Monitoring yang memenuhi syarat, terkalibrasi, terpasang dan sudah dilakukan *Pre-commissioning test/Commissioning test* akan diukur sebagaimana tertulis dalam satuan pengukuran dan sudah memperhitungkan penggunaan seluruh bahan, peralatan dan tenaga kerja yang diperlukan untuk pekerjaan ini.

Bilamana terjadi kerusakan pada material yang akan diukur untuk pembayaran, maka Penyedia Jasa wajib melakukan perbaikan tanpa biaya tambahan, kecuali kerusakan yang diakibatkan oleh *force majeure*.

##### 2) Pembayaran

Kuantitas sebagaimana yang disyaratkan di atas, akan dibayar menurut Harga Kontrak sesuai satuan pengukuran untuk Mata Pembayaran yang ditunjukkan di bawah ini dan tercantum dalam Daftar Kuantitas dan Harga, dimana harga dan pembayaran tersebut merupakan kompensasi penuh terhadap semua biaya yang dikeluarkan untuk pengadaan, pemasangan, pengujian baik secara individu, sub-sistem dan sistem serta semua biaya lainnya yang diperlukan dan lazim untuk penyelesaian pekerjaan sebagaimana yang diuraikan dalam Spesifikasi ini.

Tahap pembayaran dilakukan 60% setelah *Pre-commissioning test* dan sisa pembayaran dilakukan setelah *Commissioning test* diterima dan disetujui oleh Pengawas Pekerjaan.

Nomor Mata Pembayaran	Uraian	Satuan Pengukuran
SKh-1.7.42.(1a)	Pengadaan dan Pemasangan Sensor <i>Accelerometer</i> 2-axis tipe komunikasi kabel	Unit
SKh-1.7.42.(1b)	Pengadaan dan Pemasangan Sensor <i>Accelerometer</i> 2-axis tipe komunikasi <i>wireless</i>	Unit
SKh-1.7.42.(1c)	Pengadaan dan Pemasangan Sensor <i>Accelerometer</i> 3-axis tipe komunikasi kabel	Unit
SKh-1.7.42.(1d)	Pengadaan dan Pemasangan Sensor <i>Accelerometer</i> 3-axis tipe komunikasi <i>wireless</i>	Unit
SKh-1.7.42.(2a)	Pengadaan dan Pemasangan Sensor <i>Air Temperature</i> tipe komunikasi kabel	Unit
SKh-1.7.42.(2b)	Pengadaan dan Pemasangan Sensor <i>Air Temperature</i> tipe komunikasi <i>wireless</i>	Unit
SKh-1.7.42.(3a)	Pengadaan dan Pemasangan Sensor Anemometer <i>bi-axial</i> (2D) tipe komunikasi kabel	Unit
SKh-1.7.42.(3b)	Pengadaan dan Pemasangan Sensor Anemometer <i>bi-axial</i> (2D) tipe komunikasi <i>wireless</i>	Unit
SKh-1.7.42.(3c)	Pengadaan dan Pemasangan Sensor Anemometer <i>tri-axial</i> (3D) tipe komunikasi kabel	Unit
SKh-1.7.42.(3d)	Pengadaan dan Pemasangan Sensor Anemometer <i>tri-axial</i> (3D) tipe komunikasi <i>wireless</i>	Unit
SKh-1.7.42.(4a)	Pengadaan dan Pemasangan CCTV tipe 1	Unit
SKh-1.7.42.(4b)	Pengadaan dan Pemasangan CCTV tipe 2	Unit
SKh-1.7.42.(5)	Pengadaan dan Pemasangan Sensor DMM	Unit
SKh-1.7.42.(6a)	Pengadaan dan Pemasangan Sensor EM tipe komunikasi kabel	Unit
SKh-1.7.42.(6b)	Pengadaan dan Pemasangan Sensor EM tipe komunikasi <i>wireless</i>	Unit
SKh-1.7.42.(7a)	Pengadaan dan Pemasangan GPS Rover	Unit
SKh-1.7.42.(7b)	Pengadaan dan Pemasangan GPS Reference	Unit
SKh-1.7.42.(8a)	Pengadaan dan Pemasangan Sensor <i>Joint Meter</i> tipe komunikasi kabel	Unit
SKh-1.7.42.(8b)	Pengadaan dan Pemasangan Sensor <i>Joint Meter</i> tipe komunikasi <i>wireless</i>	Unit
SKh-1.7.42.(9)	Pengadaan dan Pemasangan Sensor <i>Load Cell</i>	Unit
SKh-1.7.42.(10a)	Pengadaan dan Pemasangan Sensor Seismometer tipe komunikasi kabel	Unit
SKh-1.7.42.(10b)	Pengadaan dan Pemasangan Sensor Seismometer tipe komunikasi <i>wireless</i>	Unit

SKh-1.7.42.(11a)	Pengadaan dan Pemasangan Sensor <i>Strain Gauge Inner</i> tipe komunikasi kabel	Unit
SKh-1.7.42.(11b)	Pengadaan dan Pemasangan Sensor <i>Strain Gauge Inner</i> tipe komunikasi <i>wireless</i>	Unit
SKh-1.7.42.(11c)	Pengadaan dan Pemasangan Sensor <i>Strain Gauge Outer</i> tipe <i>Foil</i> komunikasi kabel	Unit
SKh-1.7.42.(11d)	Pengadaan dan Pemasangan Sensor <i>Strain Gauge Outer</i> tipe <i>Transducer</i> komunikasi kabel	Unit
SKh-1.7.42.(11e)	Pengadaan dan Pemasangan Sensor <i>Strain Gauge Outer</i> tipe <i>Foil</i> komunikasi <i>wireless</i>	Unit
SKh-1.7.42.(11f)	Pengadaan dan Pemasangan Sensor <i>Strain Gauge Outer</i> tipe <i>Transducer</i> komunikasi <i>wireless</i>	Unit
SKh-1.7.42.(12a)	Pengadaan dan Pemasangan Sensor Termometer tipe komunikasi kabel	Unit
SKh-1.7.42.(12b)	Pengadaan dan Pemasangan Sensor Termometer tipe komunikasi <i>wireless</i>	Unit
SKh-1.7.42.(13a)	Pengadaan dan Pemasangan Sensor <i>Tiltmeter</i> 1-axis tipe komunikasi kabel	Unit
SKh-1.7.42.(13b)	Pengadaan dan Pemasangan Sensor <i>Tiltmeter</i> 1-axis tipe komunikasi <i>wireless</i>	Unit
SKh-1.7.42.(13c)	Pengadaan dan Pemasangan Sensor <i>Tiltmeter</i> 2-axis tipe komunikasi kabel	Unit
SKh-1.7.42.(13d)	Pengadaan dan Pemasangan Sensor <i>Tiltmeter</i> 2-axis tipe komunikasi <i>wireless</i>	Unit
SKh-1.7.42.(14)	Pengadaan dan Pemasangan Lampu Peringatan	Unit
SKh-1.7.42.(15a)	Pengadaan dan Pemasangan DAU	Unit
SKh-1.7.42.(15b)	Pengadaan dan Pemasangan DAU sensor EM tipe komunikasi <i>wireless</i>	Unit
SKh-1.7.42.(15c)	Pengadaan dan Pemasangan <i>Interface Module</i> dan <i>Test Controller</i>	Unit
SKh-1.7.42.(16a)	Pengadaan dan Pemasangan WSN <i>Gateway IEEE 802.11 Device</i>	Unit
SKh-1.7.42.(16b)	Pengadaan dan Pemasangan WSN <i>Gateway IEEE 802.15 Device</i>	Unit
SKh-1.7.41.(17)	Pengadaan dan Pemasangan Integrasi Sistem	Ls
SKh-1.7.42.(18)	Pengadaan Ruang Monitoring	Ls