



KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT
DIREKTORAT JENDERAL BINA MARGA

Jl. Pattimura No.20 Kebayoran Baru Jakarta Selatan 12110, Telp. (021) 7203165, Fax (021) 7393938



Yth.

1. Sekretaris Direktorat Jenderal Bina Marga
2. Para Direktur di Direktorat Jenderal Bina Marga
3. Para Kepala Dinas Pekerjaan Umum di seluruh Indonesia
4. Para Kepala Balai Besar/Balai Pelaksanaan Jalan Nasional di Direktorat Jenderal Bina Marga
5. Para Kepala Satuan Kerja di Direktorat Jenderal Bina Marga
6. Para Badan Usaha Jalan Tol

SURAT EDARAN
NOMOR:21 /SE/Db/2021

TENTANG

PEDOMAN PEMBAHASAN PENYELENGGARAAN KEAMANAN
TEROWONGAN JALAN

A. Umum

Untuk meningkatkan keamanan pekerjaan konstruksi terowongan dan menjamin kualitas, serta melindungi struktur terowongan, disusun Pedoman Pembahasan Penyelenggaraan Keamanan Terowongan Jalan sebagai acuan desain, pelaksanaan, serta operasional pemeliharaan di Direktorat Jenderal Bina Marga.

Pedoman ini merupakan hasil sinkronisasi dan penambahan dari beberapa standar, pedoman, dan manual yang diterbitkan, baik oleh Direktorat Jenderal Bina Marga maupun oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat serta *code* atau standar yang berlaku dan yang berkaitan dengan perencanaan, pelaksanaan, sampai dengan preservasi terowongan jalan.

Penambahan kandungan dari acuan yang ada dilakukan untuk melengkapi kebutuhan, sehingga dapat diaplikasikan baik oleh penyelenggara terowongan jalan di pusat, di daerah, maupun pihak swasta. Pedoman ini disusun untuk mengakomodasi tantangan dan hambatan dalam pembangunan terowongan jalan di Indonesia.

B. Dasar Pembentukan

1. Undang-Undang Nomor 38 Tahun 2004 tentang Jalan (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2004 Nomor 132, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 4444)
2. Undang-Undang Nomor 2 Tahun 2017 tentang Jasa Konstruksi (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2017 Nomor 11, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 6018)
3. Undang-Undang Nomor 11 Tahun 2020 tentang Cipta Kerja (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2020 Nomor 245, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 6573)

4. Peraturan Pemerintah Nomor 34 Tahun 2006 tentang Jalan (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2006 Nomor 86, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 4655)
5. Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2020 tentang Peraturan Pelaksanaan Undang-Undang Nomor 2 Tahun 2017 tentang Jasa Konstruksi sebagaimana telah diubah dengan Peraturan Pemerintah Nomor 14 Tahun 2021 tentang Perubahan atas Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2020 tentang Peraturan Pelaksanaan Undang-Undang Nomor 2 Tahun 2017 tentang Jasa Konstruksi (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2021 Nomor 24, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 6626)
6. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 19/PRT/M/2011 tentang Persyaratan Teknis Jalan dan Kriteria Perencanaan Teknis Jalan (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2011 Nomor 900)
7. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 41/PRT/M/2015 tentang Penyelenggaraan Keamanan Jembatan dan Terowongan Jalan (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2015 Nomor 1422)
8. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 13 Tahun 2020 tentang Organisasi dan Tata Kerja Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2020 Nomor 473)
9. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 10 Tahun 2021 tentang Pedoman Sistem Manajemen Keselamatan Konstruksi (SMKK) (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2021 Nomor 286)

C. Maksud dan Tujuan

Surat Edaran ini dimaksudkan sebagai acuan teknis untuk desain, pelaksanaan, operasi, dan pemeliharaan terowongan jalan baik bagi Direktorat Jenderal Bina Marga maupun bagi penyelenggara jalan di pemerintahan daerah provinsi dan pemerintah daerah kabupaten/kota, serta kementerian/lembaga atau pihak swasta yang mengelola terowongan jalan pada waktu pembahasan di Komisi Keamanan Jembatan dan Terowongan Jalan (KKJTJ).

Surat Edaran ini bertujuan agar terlaksananya konstruksi terowongan jalan yang berkeselamatan, lancar, dan nyaman, serta dapat memberikan pelayanan secara optimal terhadap penyelenggaraan keamanan terowongan jalan sesuai dengan umur desain pelayanan.

D. Ruang Lingkup

Lingkup Surat Edaran ini meliputi:

1. Ketentuan umum perencana terowongan;
2. Ketentuan umum penggunaan *software*;
3. Ketentuan umum rekomendasi dari otoritas lain;
4. Ketentuan teknis perencanaan terowongan;
5. Ketentuan teknis survey dan investigasi;

6. Ketentuan teknis pelaksanaan konstruksi terowongan jalan;
7. Ketentuan teknis uji laik fungsi struktur terowongan jalan; dan
8. Ketentuanteknis pemantauan dan sistem monitoring kesehatan struktur terowongan jalan.

E. Ketentuan Pembahasan Penyelenggaraan Keamanan Terowongan Jalan

Ketentuan pembahasan penyelenggaraan keamanan terowongan jalan ini terdiri atas 8 (delapan) bagian ketentuan yang berhubungan dengan penyelenggaraan terowongan jalan, yaitu:

1. Perencana terowongan jalan
Bagian ini berisi kualifikasi serta kewajiban perencana dan penanggung jawab perencanaan.
2. Penggunaan *software*
Bagian ini berisi ketentuan umum dalam penggunaan *software* dalam perhitungan desain terowongan jalan, yaitu harus berlisensi nasional maupun internasional, disampaikan data *input* dan *output* ke KKJTJ, dan menyerahkan *Building Information Modelling* (BIM).
3. Rekomendasi dari otoritas lain
Bagian ini berisi ketentuan umum yang terdiri dari izin atau rekomendasi yang diperlukan dari otoritas lain dalam perencanaan dan pelaksanaan konstruksi.
4. Perencanaan terowongan jalan
Bagian ini berisi ketentuan teknis yang mencakup standar dan *code* yang digunakan dalam perencanaan terowongan jalan, dokumen perencanaan yang harus diserahkan Pengelola Terowongan Jalan kepada KKJTJ pada tahap desain, deformasi izin, dan umur rencana komponen terowongan jalan.
5. Survei dan investigasi
Bagian ini berisi ketentuan teknis mencakup hal-hal yang harus diperhatikan yaitu pemetaan topografi, pemetaan geologi teknik, pemetaan geofisika, dan penyelidikan geoteknik.
6. Pelaksanaan konstruksi terowongan jalan
Bagian ini berisi ketentuan teknis mencakup hal-hal yang perlu diperhatikan untuk bahan, peralatan, persiapan, dan pelaksanaan konstruksi.
7. Uji laik fungsi struktur terowongan jalan
Bagian ini berisi ketentuan teknis mencakup persyaratan uji laik fungsi struktur, hal-hal yang perlu diperhatikan pada saat pengamatan dan pemeriksaan terowongan jalan, serta kriteria penerimaan sesuai dengan ambang batas *displacement*, dan perubahan geometri.
8. Pemantauan dan sistem monitoring kesehatan struktur terowongan jalan
Bagian ini berisi ketentuan teknis yang mencakup pemantauan oleh Pengelola terowongan jalan selama pelaksanaan konstruksi serta tahap operasi dan pemeliharaan terowongan jalan.

Ketentuan lebih rinci mengenai pedoman pembahasan penyelenggaraan keamanan terowongan jalan termuat dalam Lampiran yang merupakan bagian yang tidak terpisah dari Surat Edaran ini.

F. Penutup

Surat Edaran ini mulai berlaku pada tanggal ditetapkan.

Demikian atas perhatian Saudara disampaikan terima kasih.

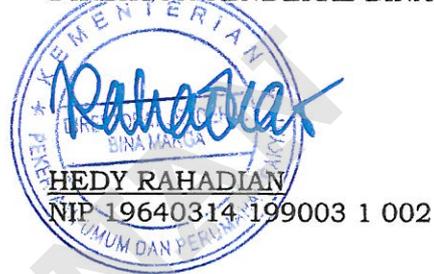
Tembusan:

1. Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat
2. Sekretaris Jenderal, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat
3. Inspektur Jenderal, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat
4. Direktur Jenderal Bina Konstruksi, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat

Ditetapkan di Jakarta

Pada tanggal : 16 Desember 2021

DIREKTUR JENDERAL BINA MARGA,





PEDOMAN

No. 14 / P/ BM/ 2021

Bidang Jalan dan Jembatan

PEMBAHASAN PENYELENGGARAAN KEAMANAN TEROWONGAN JALAN

SALINAN



KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT
DIREKTORAT JENDERAL BINA MARGA

PRAKATA

Pedoman Pembahasan Penyelenggaraan Keamanan Terowongan oleh Komisi Keamanan Jembatan dan Terowongan Jalan mencakup ketentuan umum dan ketentuan teknis, dimana di dalam ketentuan umum memuat kualifikasi dan kewajiban Perencana dan Penanggung Jawab Perencanaan, penggunaan *software*, rekomendasi dari otoritas lain dan ketentuan teknis memuat persyaratan teknis dalam pembahasan dengan Komisi Keamanan Jembatan dan Terowongan Jalan (KKJTJ).

Acuan yang digunakan pada Pedoman ini mengacu pada ketentuan yang ada pada standar, pedoman, dan manual yang diterbitkan baik oleh Direktorat Jenderal maupun oleh Kementerian Pekerjaan Umum serta *code* atau standar yang berlaku yang berkaitan dengan perencanaan, pelaksanaan hingga preservasi terowongan jalan.

Pedoman ini disusun oleh KKJTJ melalui Balai Jembatan, Direktorat Pembangunan Jembatan, Direktorat Jenderal Bina Marga, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

Pedoman ini telah dibahas dalam rapat pembahasan pada tanggal 27 September 2021 di Direktorat Bina Teknik Jalan dan Jembatan. Yang dihadiri oleh para pemangku kepentingan (*stakeholder*) terkait, yaitu perwakilan dari KKJTJ, Balai Jembatan, Balai Geoteknik Terowongan Struktur, Direktorat Pembangunan Jembatan dan Direktorat Bina Teknik Jalan dan Jembatan.

Pedoman ini diharapkan sebagai pegangan dan petunjuk bagi perencana, pembangun, pengelola jembatan khusus pada waktu pembahasan perancangan, pelaksanaan, serta operasional dan preservasi konstruksi terowongan jalan.

Jakarta, 16 Desember 2021

Direktur Jenderal Bina Marga



Hedy Rahadian

DAFTAR ISI

PRAKATA	1
DAFTAR ISI	3
PENDAHULUAN	4
1. Ruang Lingkup	5
2. Acuan Normatif	5
3. Istilah dan Definisi	7
4. Ketentuan Umum	8
5. Ketentuan Teknis	10
Bibliografi	25
Daftar Penyusun dan Unit Kerja Pemrakarsa	26

PENDAHULUAN

Direktorat Jenderal Bina Marga berupaya untuk meningkatkan ketertiban dalam penyelenggaraan dan peningkatan keamanan terowongan jalan diperlukan penanganan khusus terhadap keamanan terowongan, yaitu memberikan jaminan keamanan terowongan dan terlindunginya masyarakat beserta harta benda di sekitar terowongan oleh potensi risiko kegagalan konstruksi dan/atau kegagalan bangunan. Kondisi penyelenggaraan terowongan yang dituju didasarkan pada saat perencanaan yang telah dijalankan di berbagai negara, dengan tujuan untuk meningkatkan efektifitas, efisiensi, dan tepat mutu, waktu, serta biaya dalam pelaksanaan pekerjaan terowongan jalan.

Pedoman ini merupakan salah satu bentuk komitmen Direktorat Jenderal Bina Marga dalam penyelenggaraan terowongan jalan di seluruh Indonesia, tidak hanya yang terdapat di Jalan Nasional.

Menyesuaikan dengan kebutuhan mendesak saat ini, pedoman ini sebagai pegangan dan petunjuk bagi perencana, pembangun, pengelola terowongan pada waktu pembahasan perancangan, pelaksanaan, serta operasional dan preservasi konstruksi terowongan.

Pedoman Pembahasan Penyelenggaraan Keamanan Terowongan Jalan

1. Ruang Lingkup

Pedoman Pembahasan Penyelenggaraan Keamanan Terowongan Jalan ini menjelaskan hal-hal yang berkaitan dengan perancangan, pelaksanaan, serta operasional pemeliharaan konstruksi terowongan termasuk laporan bagi perencana, pembangun, pengelola terowongan jalan pada waktu pembahasan dengan KKJTJ.

Lingkup tugas dan fungsi KKJTJ antara lain:

- a. Melakukan pengkajian terhadap evaluasi keamanan jembatan dan terowongan jalan yang dilakukan oleh pembangun atau pengelola jembatan dan terowongan jalan;
- b. Memberikan rekomendasi mengenai keamanan jembatan dan terowongan jalan; dan
- c. Menyelenggarakan inspeksi jembatan dan terowongan jalan.

2. Acuan Normatif

Undang-Undang Nomor 2 Tahun 2017 tentang Jasa Konstruksi (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2017 Nomor 11, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 6018).

Undang-Undang Nomor 11 Tahun 2020 tentang Cipta Kerja (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2020 Nomor 245, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 6573).

Peraturan Pemerintah Nomor 14 Tahun 2021 tentang Perubahan atas Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2020 tentang Peraturan Pelaksanaan Undang-Undang Nomor 2 Tahun 2017 Tentang Jasa Konstruksi (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2021 Nomor 24, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 6626).

Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 19/PRT/M/2011 tentang Persyaratan Teknis Jalan dan Kriteria Perencanaan Teknis Jalan (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2011 Nomor 900).

Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 41/PRT/M/2015 tentang Penyelenggaraan Keamanan Jembatan dan Terowongan Jalan (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2015 Nomor 1422).

Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 10 Tahun 2021 tentang Pedoman Sistem Manajemen Keselamatan Konstruksi (SMKK) (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2021 Nomor 286).

Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM.60 Tahun 2012 tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api.

Peraturan Menteri Tenaga Kerja Republik Indonesia Nomor 08 Tahun 2020 tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja Pesawat Angkat dan Pesawat Angkut (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2020 Nomor 609).

Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum Nomor 30/SE/M/2015 tentang Pedoman Metode Perencanaan Penggalan dan Sistem Perkuatan Terowongan Jalan pada Media Campuran Tanah dan Batuan.

Surat Edaran Direktur Jenderal Bina Marga Nomor 05/SE/Db/2017 Tentang Perubahan Surat Edaran Direktur Jenderal Bina Marga Nomor Um.1.03-Db/242 Tentang Penyampaian Ketentuan Desain dan Revisi Desain Jalan dan Jembatan, serta Kerangka Acuan Kerja Pengawasan Teknis untuk Dijadikan Acuan di Lingkungan Ditjen Bina Marga.

Surat Edaran Direktur Jenderal Bina Marga Nomor 16.1/SE/Db/2020 tentang Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan (Revisi 2).

SNI 03-2849-1992, Tata cara pemetaan geologi teknik lapangan.

SNI 7571:2010 Baku Tingkat Getaran Peledakan Pada Kegiatan Tambang Terbuka Terhadap Bangunan.

SNI 1724:2015, Analisis hidrologi, hidraulik, dan kriteria desain bangunan di sungai.

SNI 2415:2016, Tata cara perhitungan debit banjir.

SNI 2052:2017, Baja tulangan beton.

SNI 8460:2017, Persyaratan perancangan geoteknik.

ISBN 978-602-5489-01-3 Tahun 2017 tentang Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia.

3. Istilah dan Definisi

3.1. AASHTO

American Association of State Highway and Transporting Official

3.2. ANSI

American National Standards Institute

3.3. AREMA

American Railway Engineering and Maintenance of Way Association

3.4. BJTD

Baja Tulang Deform adalah jenis besi beton bertekstur kasar

3.5. BJTS

Baja Tulangan Beton Siri

3.6. JSCE

Japan Society of Civil Engineers

3.7. KKJTJ

instansi yang bertugas membantu Menteri dalam penanganan keamanan Jembatan dan Terowongan Jalan

3.8. LPJK

Lembaga Pengembangan Jasa Konstruksi

3.9. LRFD

Load And Resistance Factor Design

3.10. Pemilik/Pengelola Terowongan Jalan

Pejabat yang berwenang dan bertanggungjawab dalam menyelenggarakan pembangunan jembatan dan/atau terowongan jalan (perencanaan teknis, pelaksanaan konstruksi, evaluasi keamanan, dan kesiapsiagaan tindak darurat), pengelolaan terowongan jalan (operasi, pemeliharaan, pemantauan, evaluasi keamanan, dan kesiapsiagaan tanggap darurat), inspeksi terowongan, dan pelaporan hasil inspeksi terowongan jalan kepada KKJTJ.

3.11. SNI

Standar Nasional Indonesia

3.12. TBM

Tunnel Boring Machine

3.13. Terowongan Jalan (Terowongan)

adalah terowongan untuk jalur jalan raya (*road tunnel*) dan terowongan untuk jalan kereta api (*train tunnel*).

4. Ketentuan Umum

4.1 Perencana Terowongan Jalan

4.1.1 Kualifikasi Perencana dan Penanggung Jawab Perencanaan

Kualifikasi Perencana dan Penanggung Jawab Perencanaan:

- a. Ketua Tim (*Team Leader*) bertanggung jawab secara keseluruhan terhadap pelaksanaan perencanaan, minimal wajib memiliki Sertifikat Keahlian (SKA) yang diterbitkan oleh LPJK dan/atau lembaga asosiasi yang terakreditasi serta memiliki pengalaman sebagai *team leader* selama 5 (lima) tahun di bidang jembatan dan/atau terowongan jalan;
- b. Penanggung jawab perencanaan bidang struktur, geoteknik, keairan, atau geologi wajib memiliki minimal SKA Madya bidang terkait dan memiliki pengalaman yang mendukung pada bidang terkait minimal 5 tahun;
- c. Tenaga ahli adalah pelaksana perencanaan bidang struktur, geoteknik, keairan, atau geologi wajib memiliki minimal SKA Madya bidang terkait dan memiliki pengalaman yang mendukung pada bidang terkait minimal 5 tahun;
- d. Ketua Tim dan penanggung jawab perencanaan wajib menandatangani dokumen perencanaan;
- e. Ketua Tim, penanggung jawab perencanaan, dan tenaga ahli terkait wajib hadir dalam pembahasan/presentasi di KKJTJ;
- f. Ketua Tim, penanggung jawab perencanaan, dan tenaga ahli harus paham terhadap perubahan peraturan-peraturan terbaru (SNI dan *code* yang relevan);
- g. Ketua Tim harus memahami konsep dasar antara lain struktur, geoteknik, geologi, aerodinamika, kegempaan, keairan, material, lingkungan, pemeliharaan, dan bidang-bidang lain terkait;
- h. Ketua Tim, penanggung jawab perencanaan, dan tenaga ahli harus memahami metode pelaksanaan, peralatan, dan keselamatan konstruksi;

- i. Penanggung jawab perencanaan dan tenaga ahli wajib mengerti kapabilitas program bantu (*software*) dalam perhitungan struktur, geoteknik, geologi, aerodinamika, dan keairan;
- j. Ketua Tim harus dapat mengintegrasikan semua disiplin ilmu yang terlibat dalam perencanaan.

4.1.2 Kewajiban Perencana dan Penanggung Jawab Perencanaan

Ketua Tim, penanggung jawab perencanaan, dan tenaga ahli wajib mengikuti keputusan sidang KKJTJ.

4.2. Penggunaan *Software*

Dalam penggunaan *software* untuk perhitungan harus memperhatikan hal sebagai berikut:

- a. Perhitungan wajib menggunakan *software* berlisensi yang sesuai dan diakui secara nasional maupun internasional;
- b. Perencana wajib menyerahkan data *input* dan *output* perhitungan dalam bentuk *softcopy*, untuk keperluan pengecekan termasuk *building information modelling*;
- c. Perencana wajib menyerahkan informasi lainnya terkait dengan *Building Information Modelling* (BIM) yang dikelola oleh Direktorat Jenderal Bina Marga.

4.3. Rekomendasi dari Otoritas Lain

Izin atau rekomendasi diperlukan dari otoritas lain dalam perencanaan dan pelaksanaan konstruksi, diantaranya menyangkut dalam hal:

- a. Ruang bebas vertikal;
- b. Ruang bebas horizontal;
- c. Ruang bebas terhadap infrastruktur lainnya;
- d. Persoalan Keairan (antara lain: persilangan dengan sungai, saluran irigasi, kebutuhan drainasi, ruang transportasi air, degradasi dan agradasi dasar serta erosi tebing sungai, perubahan morfologi sungai, banjir dan pasang surut, kemungkinan terjadinya tsunami, dan lain-lain);
- e. Izin peledakan;
- f. Izin penggunaan lahan;
- g. Izin lainnya terkait peraturan daerah yang ada.

5. Ketentuan Teknis

5.1. Perencanaan Terowongan Jalan

Ketentuan atau peraturan SNI yang dibutuhkan sebagai dasar perencanaan terowongan tidak tersedia, maka perencana dapat menggunakan peraturan dan standar terakhir negara lain yang sudah diakui secara internasional dan dapat dipertanggungjawabkan, antara lain:

- a. ANSI 10 R2001, *Safety Requirement for Construction of Tunnel Shaft and Caisson 1995*;
- b. *Norwegian Public Roads Administration Standard: Road Tunnels Standard 2004*;
- c. *AASHTO Technical Manual for Design and Construction of Road Tunnels, 2010 (errata 2014)*;
- d. *AASHTO LRFD Road Tunnel Design and Guide Specifications, 2017*;
- e. *JSCE, Standard Specification for Tunneling (Mountain Tunnels) 2016*, kecuali dinyatakan tidak berlaku dalam konsensus ini;
- f. *JSCE Standard Specification for Tunneling (Shield Tunnels) 2016*, kecuali dinyatakan tidak berlaku dalam konsensus ini;
- g. *JSCE Standard Specification for Tunneling (Cut and Cover Tunnels) 2016*, kecuali dinyatakan tidak berlaku dalam konsensus ini;
- h. *Guideline for Design of Road Tunnel, Road Development Authority (RDA) JICA, 2018*;
- i. *AREMA Manual for Railway Engineering, 2021*; dan
- j. Persyaratan *tunnel* dapat mengadopsi *Japan Society of Civil Engineer (JSCE)* dan *New Austrian Tunneling Method (NATM)*.

Penggunaan ketentuan lain yang tidak tercakup di atas, dapat digunakan setelah mendapatkan persetujuan KKJTJ.

Jika terdapat ketentuan di dalam peraturan dan standar yang berpotensi menimbulkan ketidaksepakatan, maka perlu mendapatkan rekomendasi KKJTJ.

5.1.1. Dokumen Perencanaan

Perencana wajib menyerahkan dokumen perencanaan melalui Pemilik/Pengelola Terowongan jalan kepada KKJTJ pada tahap desain/perencanaan terowongan jalan, yang memuat diantaranya:

- a. Survei dan investigasi, yang meliputi antara lain (sesuai kebutuhan):
 - 1) topografi;
 - 2) *bathimetri* dan *oseanografi* (misalnya untuk *immersed tunnel*);
 - 3) meteorologi dan klimatologi;
 - 4) geologi teknik;
 - 5) geoteknik;
 - 6) *site specific seismic hazard analysis*, khusus untuk *site class* SF atau berada di daerah *near fault*;
 - 7) hidrologi;
 - 8) hidrogeologi;
 - 9) data lingkungan yang terkait desain, konstruksi, dan masa layan; dan
 - 10) data lain tambahan yang terkait dalam perencanaan yang diputuskan dalam sidang KKJTJ.

- b. Kriteria desain, termasuk antara lain:
 - 1) standar dan pedoman yang dijadikan acuan;
 - 2) kondisi tanah dan/atau batuan;
 - 3) beban-beban yang bekerja dan kombinasinya;
 - 4) target kinerja terhadap gempa 100 tahun dan 1000 tahun;
 - 5) desain sambungan (*joint*) yaitu *construction joint* dan *expansion joint* (*deformation joint*);
 - 6) umur rencana terowongan;
 - 7) spesifikasi material (termasuk penyangga);
 - 8) metode konstruksi (termasuk *staging*, *sequencing and timing*, drainase);
 - 9) khusus kereta cepat, perlu memperhatikan efek aerodinamik yaitu *piston effect* termasuk kemungkinan timbulnya *sonic boom* dan optimasi jumlah *opening* yang diperlukan;
 - 10) *safety factor*, batasan konvergensi, stabilitas, dan deformasi pada saat konstruksi dan masa layan;
 - 11) tingkat kepentingan operasional dan preservasi;
 - 12) ketahanan struktur terowongan terhadap kebakaran;
 - 13) sistem penghawaan;
 - 14) sistem drainase;

- 15) *visibility*; dan
 - 16) analisis risiko, identifikasi mitigasi, serta rencana tanggap darurat (evakuasi);
 - 17) keselamatan konstruksi, keberlanjutan konstruksi, dan keselamatan pada masa operasi dan preservasi termasuk memperhitungkan kebutuhan akses inspeksi terowongan, contohnya jalan untuk inspeksi, tangga, dan lain-lain.
- c. Desain detail, diantaranya:
- 1) *method statement* yang berisi:
 - a) standar yang digunakan;
 - b) batasan desain;
 - c) metode perhitungan desain; dan
 - d) parameter desain yang digunakan (*soil and rock parameters & reinforced concrete parameters*).
 - 2) *geotechnical baseline data and interpretative report*;
 - 3) alinyemen terowongan jalan;
 - 4) konseptual penerapan Sistem Manajemen Keselamatan Konstruksi (SMKK), termasuk Rencana Keselamatan Konstruksi (RKK), Rencana Mutu Pekerjaan Konstruksi (RMPK), dan Rencana Manajemen Proyek Perangkat Lunak (RMPPL);
 - 5) *environmental risk assesment*;
 - 6) metode penggalian dan support system terowongan;
 - 7) metode dan tahapan konstruksi;
 - 8) *ground improvement*;
 - 9) desain *lining* terowongan yang berisi:
 - a) *precast, cast in-situ* atau *shotcrete*;
 - b) penulangan, sambungan (baut, *packers, gasket*), *concrete cover* dan sejenisnya;
 - c) *invert*;
 - d) *waterproofing* termasuk *waterstop* di *joint*;
 - e) *expansion joint* dan *isolation joint*;
 - f) *contact grouting*;
 - g) durabilitas.
 - 10) perhitungan desain:
 - a) empiris: *detailed engineering design, lifting, stacking, racking, bursting, joint rotation*, dan lain-lain;

- b) untuk beban gempa, perhitungan desain *pseudo* statik arah melintang dan memanjang dan/atau dinamik 2D dan 3D (sesuai dengan keperluan);
 - c) untuk analisis stabilitas, perhitungan desain 2D dan/atau 3D (sesuai dengan keperluan).
- 11) *settlement & ground movement analysis report*;
 - 12) mitigasi dan analisis land subsidence, mitigasi dan analisis likuifaksi, dan mitigasi dan analisis pengaruh dewatering saat konstruksi;
 - 13) *site material and waste management plan*;
 - 14) perhitungan *staging* pelaksanaan termasuk stabilitas sesuai metode konstruksi;
 - 15) rencana instrumentasi dan pemantauan (diantaranya untuk penurunan permukaan, konvergensi, dan kondisi lingkungan);
 - 16) rencana pengujian (*loading test, trial assembly, mock up*), perencanaan struktur wajib dilibatkan untuk perhitungan *threshold*;
 - 17) detail penulangan, detail sambungan (*construction joint dan expansion joint*), dan sejenisnya.
- d. Analisis struktur dan kelengkapan terowongan:
- 1) Analisis struktur terowongan jalan mencakup antara lain geometri, analisis kekuatan struktur terhadap beban vertikal dan beban horizontal yang bekerja, analisis *wind tunnel/aerodinamika*, analisis stabilitas terowongan, stabilitas terhadap *uplift*, metode penerowongan, analisis drainase, analisis kebutuhan penyangga, analisis ventilasi, analisis pencahayaan, analisis asap, serta analisis *visibility* dan *climate environment*;
 - 2) Analisis ketahanan struktur terhadap kebakaran dan analisis asap;
 - 3) Perhitungan stabilitas lereng dan daya dukung portal pada terowongan jalan.
- e. Spesifikasi teknis dan khusus yang harus dipenuhi untuk mencapai kualitas pekerjaan yang disyaratkan dan spesifikasi peralatan utama yang dipergunakan dalam pelaksanaan konstruksi;
- f. Gambar detail teknis hasil perencanaan (termasuk *mechanical* dan *electrical*);
- g. Metode konstruksi yang meliputi pelaksanaan tiap tahapan dan metode penerowongan yang direncanakan;
- h. Sistem monitoring saat masa konstruksi.

5.1.2. Deformasi Izin

- a. Deformasi maksimum terowongan sebelum pemasangan *lining* adalah sebesar 1% dari diameter terowongan atau sesuai persetujuan KKJTJ pada rapat pembahasan;
- b. Penurunan tanah yang diizinkan di sekitar terowongan ditentukan berdasarkan persyaratan yang ditetapkan peraturan daerah terkait (bila ada) dan disetujui oleh KKJTJ;
- c. Deformasi bangunan yang terjadi di sekitar terowongan pada saat konstruksi tidak melebihi deformasi yang dapat membahayakan bangunan tersebut;
- d. Deformasi izin terowongan ditentukan oleh deformasi izin pada masa layan.

5.1.3. Umur Rencana Komponen

- a. Umur komponen struktur utama terowongan mengikuti masa layan dari terowongan, yaitu minimum 75 tahun;
- b. Umur komponen mekanikal masa layannya paling sedikit 20 tahun;
- c. Umur komponen elektrikal masa layannya paling sedikit 10 tahun.

5.2. Survei dan Investigasi

5.2.1. Pemetaan Topografi

- a. Semua kegiatan pemetaan topografi (dan batimetri) harus terikat baik satu sama lain sehingga informasi posisi (koordinat dan ketinggian global) sudah menggunakan referensi yang sama;
- b. Pemetaan topografi dilakukan sepanjang jalur terowongan jalan dengan koridor menyesuaikan dengan kebutuhan inventarisasi detail geologi di permukaan, dengan pemetaan mencakup sekurang-kurangnya 5D (D = diameter terowongan) ke kiri dan ke kanan as terowongan, dengan tetap memperhatikan potensi gangguan terhadap lingkungan di permukaan. Pada area portal terowongan pemetaan topografi disesuaikan dengan pemenuhan perencanaan struktur;
- c. Skala peta situasi topografi (dan batimetri) 1:50 dengan interval kontur 1 m atau disesuaikan untuk kebutuhan detail perencanaan teknik.

5.2.3 Pemetaan Geologi Teknik

- a. Pemetaan geologi dilakukan untuk mendapatkan informasi diantaranya: geomorfologi, penyebaran tanah dan batuan serta stratigrafinya, struktur geologi

- (sesar, kekar, dan bidang-bidang diskontinuitas lainnya), aspek hidrogeologi (keberadaan rembesan dan mata air) dan temuan lapangan lainnya (misalkan kelongsoran lama, jebakan gas dangkal, dan situs purbakala) yang terkait dengan perencanaan teknik;
- b. Dilakukan pada daerah objek perencanaan dan sekitarnya, dengan skala yang disesuaikan kebutuhan perencanaan teknik;
 - c. Skala peta geologi teknik 1:100 sampai 1:5000 (mengacu pada SNI 03-2849-1992 Tata Cara Pemetaan Geologi Teknik Lapangan) disesuaikan untuk kebutuhan detail perencanaan teknik.

5.2.3 Pemetaan Geofisika

- a. Penyelidikan geofisika dilakukan mengetahui profil interpretatif bawah permukaan seperti perkiraan jenis batuan, muka air tanah, sesar, dan struktur geologi bawah tanah lainnya, yang dilakukan sesuai kebutuhan perencanaan teknik;
- b. Jenis penyelidikan geofisika yang dapat dilakukan pada terowongan disesuaikan untuk kebutuhan detail perencanaan teknik, antara lain:
 - 1) *Gravity*
Untuk memperkirakan sebaran masa batuan secara lateral dan posisi sesar.
 - 2) *Magnetic*
Untuk memperkirakan sebaran masa batuan secara lateral.
 - 3) *Resistivity* menggunakan ERT 2D/3D
Untuk memperkirakan pola perlapisan, muka air tanah, rongga di bawah permukaan, dan perkiraan sesar serta struktur geologi bawah tanah lainnya.
 - 4) *Ground Penetrating Radar (GPR)*
Untuk memperkirakan pola perlapisan, muka air tanah, utilitas bawah tanah, rongga di bawah permukaan, dan posisi muka air tanah.
 - 5) Perambatan gelombang seismik (seismik refraksi, *downhole seismic test*, *uphole seismic test*, *crosshole seismic test*, *parallel seismic test*, *seismic MASW*) untuk memperkirakan sebaran jenis litologi, perkiraan kekuatan masa batuan, dan posisi struktur geologi.

5.2.4. Penyelidikan Geoteknik

5.2.4.1. *Soil Investigation*

Program penyelidikan lapangan meliputi lokasi, kedalaman penyelidikan, jenis peralatan, mengacu pada SNI 8460: 2017.

5.2.4.2. Uji Geofisika

Uji geofisika mengacu pada poin 5.2.2, dilakukan untuk mendapatkan informasi stratigrafi dan muka air tanah antar titik-titik bor untuk pemenuhan perencanaan dan pelaksanaan terowongan jalan.

5.2.4.3. Keadaan Khusus

- a. Khusus untuk daerah portal terowongan dengan tebing curam harus dilakukan analisis kestabilan lereng;
- b. Untuk daerah-daerah yang pernah mengalami longsor, kecuali uji SPT dan CPT, perlu dilakukan pengambilan *Undisturbed Sample* (UDS) pada interval 1,5-2 m dan menggunakan CPTU apabila diperlukan;
- c. Khusus untuk daerah berbatu gamping (*limestone*), perlu dilakukan *Lugeon Test* untuk mengestimasi posisi dan volume *cavity*;
- d. Khusus untuk daerah sungai dengan kondisi tebing yang berpotensi longsor, perlu dilakukan analisis longsor beserta alternatif penanganannya;
- e. Apabila dalam proses penyelidikan tanah terjadi artesian (air keluar dari lubang bor), perlu dilakukan analisis lebih lanjut untuk mengetahui berapa tekanan hidrostatik dan volume yang ditimbulkannya.

5.2.4.4. Laporan *Soil-Profile* dan *Geological Cross Section*

Laporan *soil-profile* atau *geological cross section* dibuat pada tahap perencanaan dan pelaksanaan dimana penyajian profil dengan menggunakan skala yang dapat menjelaskan kondisi bawah permukaan, diantaranya:

- a. Penampang memanjang dan melintang yang dilengkapi dengan *in-situ test*, klasifikasi massa batuan serta uji laboratorium dari perolehan sampel tanah atau batuan;
- b. Penampang dibatasi dengan *end* dan *base lines*;
- c. Penampang dilengkapi dengan legenda dan *layout*;
- d. Skala vertikal dan horizontal sama serta disajikan secara grafis;
- e. Penggambaran posisi titik bor dan uji-uji *in situ* lainnya;
- f. Penampang morfologi permukaan tanah;
- g. Muka air tanah; dan
- h. Adanya potensi kelongsoran (*caving, squeezing, rock burst, heaving* dan *shrinkage*).

5.3. Pelaksanaan Konstruksi Terowongan

Pembangunan konstruksi terowongan harus mengacu kepada ketentuan yang tercantum pada SNI 8460:2017, serta aturan dan standar yang terkait dan masih berlaku. Namun, terdapat beberapa hal yang harus diperhatikan antara lain:

5.3.1. Bahan

Perlu dibuatkan benda uji silinder beton yang dirawat sesuai kondisi lapangan dan sesuai spesifikasi teknis.

5.3.2. Peralatan

- a. Sebelum peralatan pendukung digunakan harus terlebih dahulu dilakukan pemeriksaan oleh surveyor yg ditunjuk oleh instansi berwenang dan mendapat persetujuan dari instansi berwenang setempat, selanjutnya dilakukan *commissioning*;
- b. Peralatan angkat dan angkut bersertifikat dari instansi berwenang, minimal memiliki SF (*safety factor*) 2 (dua). Khusus untuk peralatan angkat, SF 2 tersebut hanya berlaku selama berat komponen struktur yang diangkat terukur secara lengkap (memperhitungkan berbagai aspek seperti pengaruh beban dinamis, beban angin, dll);
- c. *Temporary supporting structure* memiliki SF paling sedikit 2.5 (dua setengah), selama gaya yang dipikul telah memperhitungkan pengaruh-pengaruh yang mungkin terjadi, termasuk pengaruh beban lingkungan dan kekuatan *supporting structure* juga terukur (termasuk pengaruh kelangsingan yang terlemah);
- d. Akses stabilitas *temporary supporting structure* harus memperoleh perhatian utama dan akses pemeriksaan *temporary supporting structure* harus disiapkan.

5.3.3. Persiapan Konstruksi

Pemilik/Pengelola Terowongan harus berkoordinasi dengan Komite Keselamatan Konstruksi (K2K) PUPR untuk menjamin keselamatan pelaksanaan konstruksi.

5.3.4. Pelaksanaan

- a. Untuk kepentingan pelaksanaan Uji Laik Fungsi Struktur dan Monitoring Kesehatan Struktur (MKS) agar dipasang sensor *strain gauge* pada baja tulangan

- beton prategang dan beton non *prategang* sebelum beton dicor untuk mengetahui regangan yang terjadi dan tidak diperbolehkan melakukan pembobokan;
- b. *Strain gauge* agar dipasang pada lokasi-lokasi tegangan maksimum pada elemen struktur yang akan dimonitor (agar dikoordinasikan dengan perencanaan struktur);
 - c. Selama pelaksanaan konstruksi, Pemilik/Pengelola Terowongan harus menyampaikan laporan pelaksanaan konstruksi paling sedikit 6 (enam) bulan sekali dan laporan konstruksi akhir ke KKJTJ melalui Balai Jembatan. Laporan 6 bulanan tersebut memuat antara lain:
 - 1) Kesesuaian antara pelaksanaan konstruksi dengan desain yang disetujui oleh Menteri;
 - 2) Kesesuaian antara hasil uji kendali mutu dengan spesifikasi teknis yang tercantum dalam dokumen desain;
 - 3) Keamanan struktur terowongan dalam hal terjadi perubahan terhadap parameter desain antara lain: parameter material yang terpasang, beban yang bekerja dan lain-lain;
 - 4) Penyesuaian atau perubahan metode pelaksanaan;
 - 5) Penanganan kejadian khusus;
 - 6) Rencana dan kesiapsiagaan tindak darurat;
 - 7) Tindak lanjut atas saran yang telah disampaikan oleh Komisi Keamanan Jembatan dan Terowongan Jalan pada saat evaluasi desain;
 - 8) Bagian-bagian terowongan yang diamati sesuai dengan poin 5.4.1.

5.4. Uji Laik Fungsi Struktur Terowongan

5.4.1. Pengamatan dan Pemeriksaan Terowongan yang Dilaporkan Kepada KKJTJ

Pengamatan dan pengukuran geometri terhadap lingkungan sekitar terowongan jalan yang berpengaruh terhadap keamanan terowongan jalan dilakukan dalam jarak paling sedikit 100 (seratus) meter dari terowongan.

Bagian-bagian terowongan yang diamati selama masa konstruksi antara lain:

- a. Hasil pengujian material (*concrete, shotcrete, rock bolt, grouting, joint sealer* dan lain-lain);
- b. Hasil pengamatan kinerja muka galian secara sistematis terhadap kondisi tanah atau batuan untuk memverifikasi metode penerowongan dan desain perkuatan/penyangga;
- c. Hasil pengukuran konvergensi dan deformasi sepanjang terowongan;
- d. Hasil fungsi sistem drainase dari *run off*;

- e. Hasil geometrik (alinyemen vertikal, alinyemen horizontal, kemiringan, dan dimensi bukaan);
- f. Hasil sistem ventilasi (sirkulasi, kualitas dan kuantitas udara);
- g. Hasil perlengkapan keadaan darurat (jalur evakuasi dan sistem pemadam kebakaran);
- h. Hasil penurunan permukaan dan pengaruh terhadap bangunan dan infrastruktur sekitar; dan
- i. Hasil interpretasi sebelum dan sesudah dari TBM *logger* yang memberikan informasi sebagai berikut: *face pressure*, *grout pressure*, *jack force* dan utilitas yang ada;
- j. Hasil pengamatan adanya retakan dan kebocoran serta mitigasinya.

5.4.2. Pengujian dan Pengamatan Terowongan

5.4.2.1. Persyaratan untuk Dapat Dilakukan Uji Laik Fungsi Struktur

Persyaratan untuk dapat dilakukan Uji Laik Fungsi Struktur adalah:

- a. Telah menyampaikan hasil Pengamatan dan Pemeriksaan Terowongan;
- b. Hasil pengukuran konvergensi terowongan saat konstruksi dan saat *lining* terpasang (hingga 2 (dua) minggu sebelum permohonan laik fungsi) tidak menunjukkan adanya pergerakan yang signifikan;
- c. Hasil pengukuran deformasi dan kestabilan lereng pada area portal menunjukkan lereng dalam kondisi stabil dengan *safety factor* sesuai dengan perencanaan;
- d. Sistem drainase dan sistem kedap air berfungsi dengan baik;
- e. Dinding terowongan tidak menunjukkan adanya kerusakan/*defect*;
- f. Sirkulasi, kualitas dan kuantitas udara sesuai dengan standar baku mutu udara;
- g. Perlengkapan fasilitas darurat memenuhi persyaratan;
- h. Lampu/pencahayaan sesuai yang disyaratkan dalam desain;
- i. Penurunan permukaan dan pengaruh terhadap struktur sekitar sesuai dengan yang disyaratkan dalam perencanaan oleh KKJTJ;
- j. Pembacaan regangan yang terjadi pada baja tulangan beton prategang dan beton non prategang agar menggunakan sensor *strain gauge* yang sudah dipasang sebelum beton dicor dan tidak diperbolehkan melakukan pembobokan;

- k. *Strain gauge* agar dipasang pada lokasi-lokasi tegangan maksimum pada elemen struktur yang akan dimonitor (agar dikoordinasikan dengan perencanaan struktur).

5.4.2.2. Kriteria Penerimaan

- a. Uji beban statik di sekitar *expansion joint* memperlihatkan perbedaan *vertical displacement* tidak lebih dari 2 mm;
- b. *Permanent vertical displacement* dari uji beban static tidak boleh melebihi 5% dari respon *maximum vertical displacement*;
- c. Tidak ditemukan *defect* baru setelah dilakukan uji beban;
- d. Tidak terjadi perubahan geometri setelah dilakukan uji beban.

5.5. Pemantauan dan Sistem *Monitoring Kesehatan Struktur (MKS)* Terowongan

Terkait terowongan maka terdapat beberapa kewajiban melakukan pemantauan oleh Pemilik/Pengelola terowongan, pemantauan terowongan tersebut dilaksanakan:

- a. Selama pelaksanaan konstruksi terowongan; atau
- b. Tahap operasi dan preservasi terowongan

Pemantauan terowongan dilakukan dengan tujuan:

- a. untuk mengetahui secara dini kemungkinan adanya penyimpangan perilaku terowongan atau adanya permasalahan yang sedang berkembang; dan
- b. agar penyimpangan perilaku atau permasalahan yang sedang berkembang pada terowongan dapat ditangani secara cepat dan tepat sebelum berkembang menjadi ancaman yang nyata bagi keamanan terowongan.

Terkait Pelaporan hasil operasi, preservasi dan pemantauan terowongan harus disusun oleh Pemilik/Pengelola Terowongan dalam Laporan Operasi, Preservasi, dan Pemantauan Terowongan, yaitu:

- a. Laporan pemantauan meliputi:
 - 1) laporan rutin pemantauan mencakup hasil pengamatan dan pengukuran geometri terowongan;
 - 2) laporan tahunan pemantauan berupa rangkuman laporan geometrik, laporan kondisi, laporan hasil uji laik fungsi struktur dan SMKS (Sistem Monitoring Kesehatan Struktur) selama satu tahun serta evaluasinya.
 - 3) laporan pemeriksaan inventarisasi;

- 4) laporan pemeriksaan detail;
 - 5) laporan pemeriksaan khusus; dan
 - 6) laporan tindak tanggap darurat bila diperlukan.
- b. Laporan operasi dan laporan preservasi pada akhir tahun dirangkum masing-masing menjadi laporan tahunan operasi dan laporan tahunan preservasi.
 - c. Laporan tahunan operasi dan laporan tahunan preservasi bersama laporan tahunan pemantauan disusun dalam satu laporan tahunan operasi, preservasi dan pemantauan.
 - d. Laporan tahunan operasi, preservasi dan pemantauan disampaikan kepada Komisi Keamanan Jembatan dan Terowongan Jalan untuk dikaji.

Sistem MKS juga sering disebut dengan SHMS (*Structural Health Monitoring System*) dengan penjelasan lebih lengkap dapat dilihat dibawah ini.

5.5.1. Fungsi Sistem *Monitoring Kesehatan Struktur*

Sistem MKS terowongan ini berfungsi sebagai pelengkap dari sistem pemantauan yang diterapkan pada terowongan.

5.5.2. Tujuan Sistem MKS

Tujuan Sistem MKS adalah:

- a. Verifikasi antara desain dengan keadaan aktual di lapangan;
- b. Memonitor respon struktur sesuai dengan tipe terowongan dan beban yang bekerja (sesuai poin 5.5.4);
- c. Mengevaluasi tingkat kinerja/*performance level* berdasarkan nilai *threshold* yang telah ditetapkan dari uji beban maupun dari analisis berdasarkan *as built drawing and specification*;
- d. Untuk keperluan *traffic management (warning system)*.

5.5.3. Keterlibatan Konsultan

Konsultan perencana dan konsultan uji beban harus dilibatkan dalam perencanaan Sistem MKS termasuk dalam penentuan titik-titik kritis respon struktur, parameter struktur yang akan diukur dan jenis sensor, serta nilai *threshold*-nya. Nilai *threshold* harus mempertimbangkan batasan kinerja berdasarkan *code* yang berlaku, hasil perhitungan dengan menggunakan

model struktur yang *holistic* dan sesuai dengan kondisi terpasang, serta hasil pengukuran saat uji beban.

5.5.4. Aspek yang Dimonitor Sistem MKS

Sistem MKS dirancang untuk memonitor:

- a. Aksi eksternal (beban *traffic*, beban gempa, beban angin, beban suhu, beban lingkungan dan sejenisnya); dan
- b. Respons struktur terowongan (*relative displacement* pada *expansion/contraction/deformation joint*, perubahan geometri penampang terowongan, regangan/tegangan *hoop*, *differential settlement* arah memanjang, dan *defect (crack, leakage, joint sealer damage)*). Untuk terowongan yang memiliki potensi *leakage*, *seepage* dan *land subsidence* agar dipasang sensor yang sesuai.

5.5.5. Sensor yang Digunakan untuk *Monitoring*

5.5.5.1. Aksi Eksternal

- a. Beban *Traffic* : WIM (*Weight in Motion*),
- b. Beban Angin : Anemometer,
- c. Beban Gempa : *Sensor Seismic / Strong Ground Motion*,
- d. Beban Suhu : ATRH (*Ambient Temperature and Relative Humidity*),
Termokopel/*Strain Gauge* untuk suhu Material

5.5.5.2. Respons

- a. *Displacement* : *Displacement Transducer*, LVDT (*Linear Variable Displacement Transducer*), DMM (*Displacement Multi Meter*), *Dial gauge*, *Laser Distance*, *Linear Potentiometer*, dan sejenisnya
- b. Kemiringan arah memanjang : *Tiltmeter*
- c. Regangan : *Foil Strain Gauge*, *Vibrating Wire Strain Gauge*, *strain transducer* (yang digunakan harus *self temperature compensated*)

- d. *Differential Settlement* : DMM (*Displacement Multi Meter*)
arah memanjang dan perubahan penampang melintang
- e. *Defect* : *Strain Gauge* dengan *Fiber Optic*, *Crackmeter*, *Corrosion Sensor*
- f. *Leakage, drip* dan *Seepage* : *Water Dischargemeter*
- g. Pergerakan tanah : *Inclinometer*, *Piezometer*, *Sub-surface Extensometer*, dan *GPS (High Accuracy)*

5.5.5.3. Visual Monitoring

- a. Visual monitoring dilakukan untuk *traffic management*, vandalisme, *security*, *terrorism*, dan rekonstruksi *unforeseen condition* atau *force majeure*;
- b. Visual monitoring dilakukan menggunakan sejumlah CCTV yang *high resolution* dan diintegrasikan dengan *warning system*.

5.5.6. Ambang Batas (*Threshold*)

Penetapan *threshold* dan kriteria kesehatan struktur terowongan mengacu pada: DED (*Detailed Engineering Design*), *as-built drawing* (kondisi terbangun) yang dilengkapi dengan foto pendukung dan hasil uji beban statik dan dinamik. Nilai *threshold* juga harus mempertimbangkan batasan kinerja berdasarkan *code* yang berlaku dan hasil perhitungan dengan menggunakan model struktur terowongan jalan yang menyeluruh (*holistic*).

5.5.7. Usia Layan Sistem MKS

- a. Usia layan Sistem MKS harus dijamin berfungsi ~~minimum kurang dari~~ paling sedikit 10 tahun. Setiap 10 tahun Sistem MKS harus dievaluasi dan didesain ulang (apabila diperlukan), sampai usia layan terowongan;
- b. Dalam usia layan tersebut termasuk di dalamnya *maintenance* sensor, kalibrasi berkala, jaminan sistem bekerja, penggunaan *software* termasuk analisa, dan otomatisasi berkala;
- c. Perencana Sistem MKS harus menentukan spesifikasi dan membuat manual *maintenance* Sistem MKS (jadwal penggantian, *maintenance*, dan kalibrasi).

5.5.8. Hasil *Monitoring* dan Laporan Sistem MKS

- a. Perencana Sistem MKS harus membuat format pelaporan bulanan, tahunan untuk dilaporkan kepada Direktur Jenderal Bina Marga, Kementerian PUPR;
- b. Perencana Sistem MKS harus merancang hasil *monitoring* yang ditampilkan *realtime* pada *monitoring center* secara informatif dan terhubung ke *server* Kementerian PUPR;
- c. Data mentah disimpan di *cloud* Kementerian PUPR untuk dianalisis lebih lanjut oleh sistem manajemen terintegrasi MKS.

5.5.9. Ketentuan Lainnya

- a. Perencana Sistem MKS perlu mengajukan usulan organisasi manajemen Sistem MKS bersama dengan Kementerian PUPR dan instansi terkait;
- b. Perencana Sistem MKS harus merencanakan optimasi jenis, jumlah dan penempatan sensor pada rencana Sistem MKS;
- c. Pembacaan regangan yang terjadi pada baja tulangan beton prategang dan beton non prategang agar menggunakan sensor *strain gauge* yang sudah dipasang sebelum beton dicor (dimana digunakan juga saat uji laik fungsi) dan tidak diperbolehkan melakukan pembobokan;
- d. *Strain gauge* agar dipasang pada lokasi-lokasi tegangan maksimum pada elemen struktur yang akan dimonitor (agar dikoordinasikan dengan perencanaan struktur);
- e. Optimasi akuisisi data, perekaman data, dan analisis data;
- f. Sumber energi untuk Sistem MKS harus berkelanjutan (*sustainable*) dan stabil;
- g. Sistem komunikasi data untuk Sistem MKS harus berkelanjutan dan stabil;
- h. Ruang kontrol atau *monitoring center* harus representatif serta dikontrol suhu dan *humidity*-nya untuk menjaga keberlangsungan alat-alat elektronik yang digunakan dalam Sistem MKS;
- i. *Environmental climate monitoring* (kontrol polusi udara) dan *air pollution* (CO₂, NO_x dan sebagainya) beserta peralatan yang diperlukan, antara lain: *visual monitoring* (CCTV) dan *warning system*;
- j. Selama masa operasi dan preservasi, apabila terowongan belum memiliki sistem MKS maka Pemilik/ Pengelola Jembatan tetap membuat laporan hasil monitoring/ pemantauan yang mengacu pada poin 5.5.

Bibliografi

ANSI 10 R2001, *Safety Requirement for Construction of Tunnel Shaft and Caisson*, 1995

AASHTO *Technical Manual for Design and Construction of Road Tunnels*, 2010
(errata 2014)

AASHTO LRFD *Road Tunnel Design and Guide Specifications*, 2017

AREMA *Manual for Railway Engineering*, 2021

Guideline for Design of Road Tunnel, Road Development Authority (RDA) JICA, 2018

JSCE, *Standard Specification for Tunneling (Mountain Tunnels)*, 2016

JSCE *Standard Specification for Tunneling (Shield Tunnels)*, 2016

JSCE *Standard Specification for Tunneling (Cut and Cover Tunnels)*, 2016

Norwegian Public Roads Administration Standard: Road Tunnels Standard, 2004

Daftar Penyusun dan Unit Kerja Pemrakarsa

No.	Nama	Unit Kerja	
1.	Pemrakarsa	Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Direktorat Jenderal Bina Marga, Direktorat Bina Teknik Jalan dan Jembatan, Balai Jembatan.	
2.	Koordinator	Panji Krisna Wardana, ST, MT	Kepala Balai Jembatan
3.	Penyusun/ Pembahas	<ol style="list-style-type: none"> 1. Dr. Ir. Arie Setiadi Moerwanto, M.Sc 2. Dr. Ir. Maulidya Indah Junica, M.Sc 3. Fahmi Aldiamar, ST.,MT; 4. Neni Kusnianti, ST, MT 5. Ande Akhmad Sanusi, SH., M.Sc 6. Prof (R) Dr. Ir. Anwar Yamin, MT 7. Ir. Indra Miduk Hutabarat, MM 8. Ir. Nono, M.Eng.Sc 9. Drs. Gugun Gunawan, M.Si 10. Vebry Widya Puspitasari, ST 11. Hanifah Mardiana, ST, M.Eng.Sc 12. Dinan Mutiara, ST, MT 13. Mohammad Febriant, ST, MT 14. Muhammad Fuady R., ST 	Narasumber Direktorat Jenderal Bina Marga
		<ol style="list-style-type: none"> 1. Prof. Ir. Bambang Suhendro, M.Sc., Ph.D. 2. Prof. Ir. Bambang Budiono, ME., Ph.D. 3. Prof. Ir. Masyhur Irsyam, MSE., Ph.D. 4. Prof. Ir. Priyo Suprobo, M.Sc., Ph.D. 5. Prof. Ir. Iswandi Imran, MASC., Ph.D. 6. Prof. Ir. Jamasri. Ph.D. 7. Prof. Dr. Ir. Tommy Ilyas, M.Eng. 8. Prof. Ir. Djoko Legono, Ph.D. 9. Prof. Dr. Eng. Imam Achmad Sadisun, ST., MT. 10. Prof. Dr. Ir. Hidajat Sugihardjo, M., MS. 11. Prof. Widjojo Adi Prakoso, Ph.D. 12. Dradjat Hoedajanto, ST.Si., M.Eng., Ph.D. 13. Dr. Fariduzzaman, MSc., MT. 14. Dr. Ir. Paulus K., MBA. 15. Dr. Ir. Heru Purnomo, DEA. 16. Ir. Djoni Rustino, MT. 17. Prof. Ir. Ridho Kresna Wattimena, MT, Ph.D 18. Prof. Ir. Teuku Faisal Fathani, ST, MT, Ph.D, IPU, ASEAN Eng. 	Narasumber KKJTJ
		Prof. Dr. Ir. Wiryanto Dewobroto, MT	Narasumber Akademisi
		Ir. Iwan Zarkasi, M.Eng. Sc	Narasumber Praktisi