

ID: 007-PUB-2026-VIII

Tanggal Terbit: 15 August 2026

Analisis Kritis dan Evaluasi Metode Konstruksi Terowongan dalam Perspektif Peningkatan Infrastruktur Jalan Raya di Indonesia

Penulis

Rikal Andani, ST, M.Eng

Dosen, Politeknik Pekerjaan Umum (PUTech) Semarang

rikal.andani@politeknikpu.ac.id

Abstrak

Terowongan, didefinisikan sebagai tembusan bawah permukaan dengan panjang minimal 150 meter, merupakan solusi teknis yang strategis dalam pembangunan jalan raya di Indonesia. Pembangunannya menawarkan keunggulan signifikan dalam hal perbaikan alinemen horizontal, minimalisasi selisih elevasi, serta pengurangan dampak lingkungan akibat galian besar pada kontur pegunungan. Meskipun menanggung biaya dan waktu pengerjaan yang substansial, *life-cycle cost* terowongan seringkali lebih efisien. Artikel ini bertujuan mengevaluasi kriteria penentuan jenis terowongan berdasarkan klasifikasi lokasi (bawah air, pegunungan, perkotaan) dan material yang dilewati (batuan, tanah lunak, *mixed face*). Pembahasan difokuskan pada metode seperti *Drill and Blast* untuk batuan keras, *Roadheader* untuk batuan sedang, hingga peran *Tunnel Boring Machine (TBM)* untuk proyek skala besar dan panjang. Selain itu, artikel ini menguraikan secara rinci sistem perkuatan esensial (shotcrete, rock bolt, steel arch) serta pentingnya manajemen pemeliharaan, yang meliputi pemeliharaan rutin, korektif (on-demand—seperti injeksi epoxy resin untuk cracking), dan monitoring struktur berkelanjutan untuk memastikan keamanan dan kinerja jangka panjang sesuai standar peraturan jalan raya nasional (misalnya, Permen PU No. 19 Tahun 2011).

Kata Kunci: Terowongan, Metode Konstruksi, Geoteknik, TBM, Perkuatan, Pemeliharaan Terowongan.

Pendahuluan

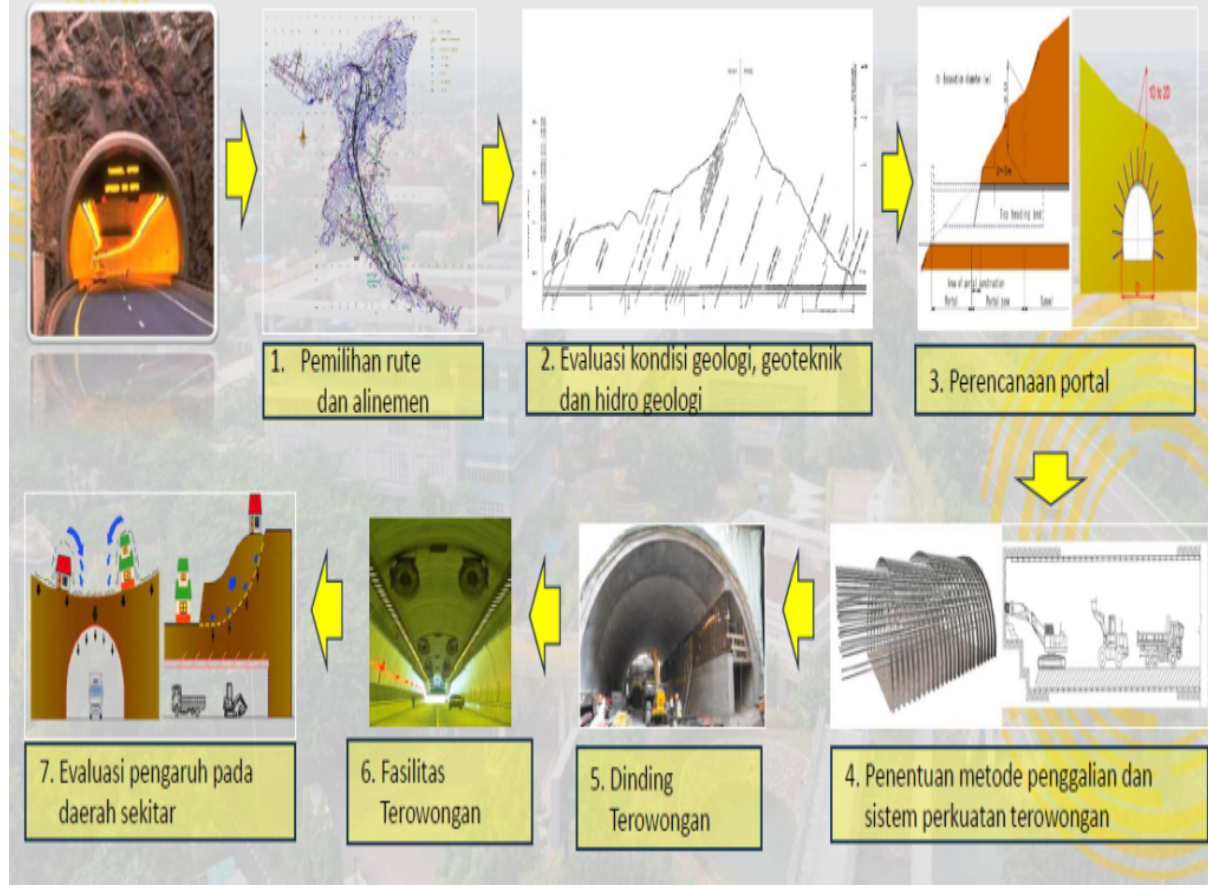
Pembangunan infrastruktur jalan raya di Indonesia seringkali menghadapi tantangan topografi yang kompleks, terutama pada wilayah pegunungan yang padat. Untuk mengatasi hambatan ini, teknik konstruksi terowongan menawarkan alternatif yang unggul dibandingkan pembangunan jalan yang menyusuri kontur alam. Secara teknis, terowongan didefinisikan oleh beberapa ahli teknik sipil sebagai tembusan bawah permukaan yang panjangnya melebihi 150 meter.

Keputusan untuk mengadopsi konstruksi terowongan, meskipun melibatkan biaya awal yang tinggi dan durasi pengerjaan yang lama, didasarkan pada empat pertimbangan utama yang menunjukkan kelebihan signifikan:

1. **Alinemen dan Geometri:** Terowongan memungkinkan alinemen horizontal yang lebih lurus dan meminimalkan selisih elevasi (kemiringan memanjang), yang secara langsung meningkatkan keselamatan dan efisiensi lalu lintas.
2. **Efisiensi Lingkungan:** Mengurangi kebutuhan galian dalam dan volume material yang besar, sehingga meminimalkan kerusakan lingkungan dan dampak visual pada kontur alam.
3. **Kondisi Media:** Terowongan dapat dibangun melalui formasi tanah keras atau batuan, yang seringkali dihindari dalam konstruksi jalan konvensional.
4. **Keberlanjutan (Sustainability):** Opsi ini mendukung pemanfaatan ruang permukaan untuk pengembangan lain.

Artikel ini bertujuan menganalisis secara komprehensif teknologi dan metode yang diterapkan dalam konstruksi terowongan jalan raya, mulai dari klasifikasi, metode penggalian, sistem perkuatan, hingga manajemen pemeliharaan struktural.

TAHAPAN PERENCANAAN & KONSTRUKSI TEROWONGAN



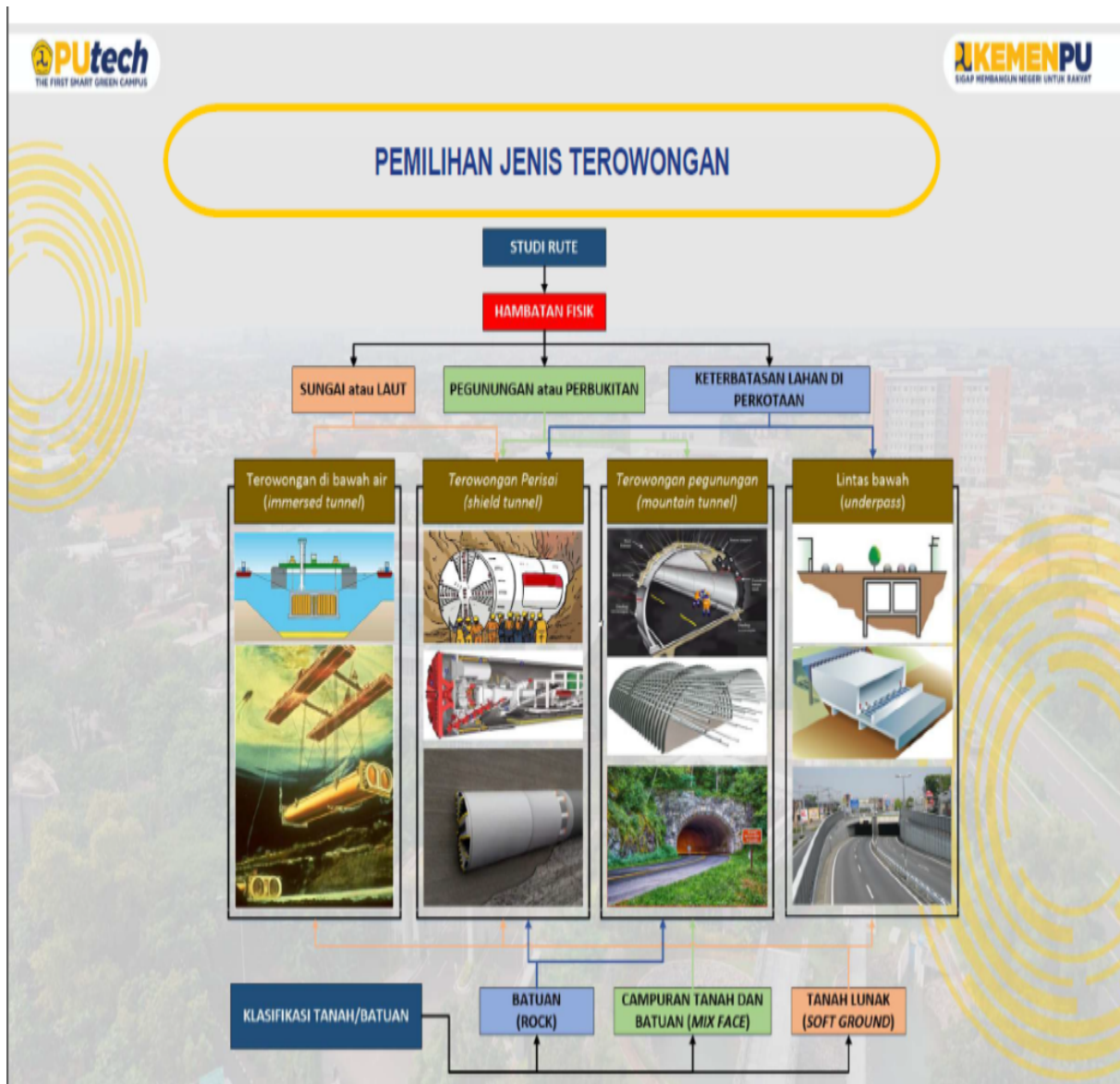
Klasifikasi Tipe Terowongan

Penentuan desain dan metode konstruksi terowongan sangat bergantung pada hasil investigasi lapangan yang mendalam. Terowongan diklasifikasikan berdasarkan beberapa kriteria utama:

- **Berdasarkan Lokasi:**

- **Terowongan Pegunungan (*Mountain Tunnel*):** Dibangun melalui massa batuan atau tanah yang mendominasi topografi.
- **Terowongan Bawah Air:** Meliputi *Immersed Tunnel* (dibuat di darat dan ditenggelamkan) dan *Bored Tunnel* (dibor di bawah dasar air).
- **Terowongan Perkotaan (*Dangkal*):** Sering menggunakan metode *Shield Tunnel* atau *Cut-and-Cover*.

- **Berdasarkan Media:** Terowongan pada batuan (keras), tanah lunak (*Soft Ground*), dan *Mixed Face* (kombinasi batuan dan tanah).



Kriteria Pemilihan Alternatif

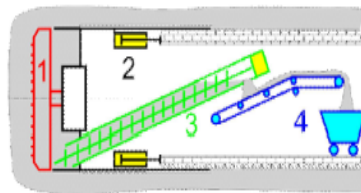
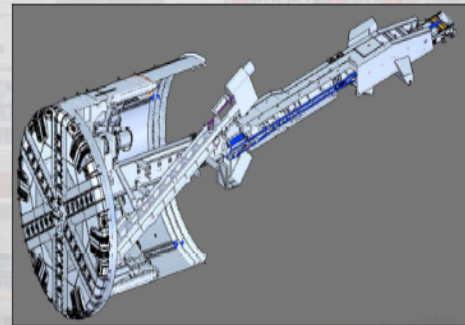
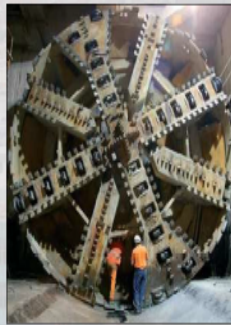
Proses seleksi konstruksi terowongan diwajibkan melalui evaluasi multi-aspek yang meliputi: studi rute yang komprehensif, analisis finansial (*life-cycle cost analysis*), penyelidikan geoteknik (menentukan potensi masalah dan risiko), serta pertimbangan dampak lingkungan dan sosial. Standar desain geometri terowongan jalan di Indonesia harus mengacu pada regulasi terkait, seperti **Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 19 Tahun 2011** tentang Persyaratan Teknis Jalan dan Kriteria Perencanaan Teknis Jalan, untuk memastikan ketersediaan ruang bebas dan dimensi aman yang optimal.

Metode Penggalian (Excavation Methods)

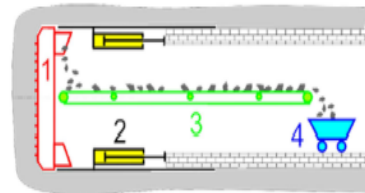
Metode konstruksi ini dipilih berdasarkan sifat massa batuan atau tanah, yang umumnya dikuantifikasi melalui sistem **Rock Mass Rating (RMR)**.

Metode Konstruksi	Media Batuan	Rock Mass Rating (RMR)	Keterangan Aplikasi
Drill and Blast (D&B)	Batuan Sangat Keras	RMR > 60	Digunakan untuk batuan dengan integritas tinggi. Metode ini fleksibel namun menghasilkan getaran dan memerlukan siklus kerja yang terstruktur.
Road Headers	Batuan Sedang (<i>Moderate</i>)	RMR 30–60	Mesin pemotong berputar yang efisien untuk batuan sedang hingga lunak dan batuan dengan retakan/kekar.
Ripper Excavator	Batuan Lunak atau Tanah	RMR < 30	Digunakan pada media dengan kekuatan tekan rendah.
Tunnel Boring Machines (TBM)	Batuan Keras atau Tanah	Variatif	Ideal untuk terowongan jarak panjang dan lurus. Keunggulan utama TBM adalah kecepatan tinggi, keamanan kerja yang baik, dan minimnya gangguan permukaan.
Cut-and-Cover / Jacking	Tanah Lunak	–	Umumnya digunakan untuk terowongan dangkal atau <i>underpass</i> .

Tunnel Boring Machines (2)



Keterangan gambar:
1 adalah kepala pemotong
2 adalah dongkrak
3 adalah conveyor ulir
4 adalah conveyor sabuk dan penampungan material galian di trolis



Keterangan gambar:
1 adalah kepala pemotong
2 adalah dongkrak
3 adalah conveyor sabuk
4 penampungan material galian di trolis

Sistem Perkuatan (Support System)

Sistem perkuatan yang digunakan bertujuan untuk menstabilkan lubang galian dan mentransfer beban geologis ke struktur terowongan. Kombinasi metode perkuatan meliputi:

1. **Beton Semprot (*Shotcrete*):** Berfungsi sebagai lapisan penahan awal segera setelah penggalian (Initial Support). *Shotcrete* memberikan perkuatan permukaan, mencegah pelapukan batuan, dan menahan deformasi batuan yang cepat.
2. **Baut Batuan (*Rock Bolt*):** Berfungsi mengikat massa batuan yang retak menjadi satu kesatuan yang lebih kuat. *Rock bolt* bekerja melalui mekanisme tekanan internal, suspensi, dan penggantungan blok batuan.
3. **Penyangga Baja (*Steel Arch*):** Digunakan pada kondisi tanah/batuan yang sangat lemah atau ketika tekanan batuan sangat tinggi. Berfungsi sebagai penyangga utama dan membantu mentransfer beban.
4. **Lantai Kerja (*Invert*):** Pemasangan perkuatan di bagian dasar terowongan untuk menstabilkan kaki dinding (haunches) dan mencegah penyempitan akibat desakan horizontal.

Pemeliharaan Rutin (Routine Maintenance)

Keamanan operasional dan umur layanan terowongan sangat bergantung pada sistem pemeliharaan yang terencana. Pemeliharaan ini bersifat periodik dan preventif, meliputi:

- Pencucian dan pembersihan *lining* terowongan.
- Pembersihan saluran dan pipa drainase untuk mencegah penumpukan air.
- Pemeliharaan dan penggantian lampu penerangan dan sistem ventilasi.
- Pemeliharaan marka jalan dan rambu lalu lintas yang harus selalu bersih dan jelas.
- Pengujian rutin sistem keselamatan dan kebakaran (sensor, *sprinkler*, *fire extinguishers*).

Perawatan Korektif Sesuai Permintaan (On-Demand Maintenance)

Dilakukan untuk mengatasi kerusakan atau kegagalan yang terjadi secara tiba-tiba atau terdeteksi melalui monitoring. Contohnya meliputi:

- **Perbaikan Delaminasi (*Delamination*):** Kerusakan lapisan beton/shotcrete. Perbaikan dilakukan dengan *Patching* (aplikasi mortar) untuk perbaikan kecil, atau persiapan permukaan dan *shotcrete* untuk perbaikan struktural yang lebih besar.
- **Perbaikan Keretakan (*Cracking*):** Perbaikan dilakukan dengan **Injeksi Keretakan**. Bahan injeksi (misalnya, *epoxy resin* yang encer) dipompakan di bawah tekanan tinggi ke dalam celah/retak setelah permukaan retak ditutup. Metode ini efektif untuk mengisi retak-retak yang kecil dan cukup dalam.

Monitoring Kinerja dan Rehabilitasi

Untuk memastikan keamanan dan untuk umpan balik desain/pemeliharaan, diperlukan monitoring menggunakan instrumen seperti **Total Station** (memantau deformasi), **Extensometer** (mengukur pergerakan batuan), **Piezometer** (mengukur tekanan air tanah), dan **Wireless Sensor Network**. Data monitoring menjadi dasar untuk keputusan **Rehabilitasi Sistem Terowongan** yang dilakukan ketika sistem mendekati akhir masa layanan (misalnya, perombakan total sistem ventilasi atau perbaikan struktural ekstensif).

Kesimpulan

Konstruksi terowongan adalah pilihan teknologi yang esensial untuk pembangunan infrastruktur jalan raya modern di Indonesia, menawarkan keunggulan dalam aspek geometri, lingkungan, dan efisiensi operasional. Keberhasilan dan keamanan terowongan sangat ditentukan oleh pemilihan metode penggalian yang tepat, didukung oleh data geoteknik yang akurat (RMR), serta aplikasi sistem perkuatan yang terpadu (*shotcrete*, *rock bolt*). Selain fase konstruksi, komitmen terhadap program pemeliharaan struktural dan operasional (rutin dan *on-demand*) serta monitoring berkelanjutan adalah kunci untuk menjamin umur layanan dan keselamatan sesuai dengan standar teknis yang berlaku.

Rekomendasi

1. **Integrasi BIM/Digital Twin:** Direkomendasikan untuk mengintegrasikan *Building Information Modeling (BIM)* atau *Digital Twin* sejak fase desain hingga pemeliharaan terowongan untuk memfasilitasi manajemen aset, pemantauan deformasi, dan perencanaan pemeliharaan korektif yang lebih presisi.
2. **Riset Material Lokal:** Penelitian lebih lanjut diperlukan mengenai pengembangan material perkuatan dan *lining* yang memanfaatkan sumber daya lokal namun tetap memenuhi standar kekuatan dan durabilitas internasional.
3. **Pelatihan SDM:** Peningkatan pelatihan bagi teknisi dan insinyur konstruksi terowongan di Indonesia mengenai teknologi terkini (seperti operasi dan pemeliharaan TBM) dan diagnosis kerusakan tingkat lanjut (seperti injeksi keretakan) sangat krusial.

Daftar Pustaka

1. Bieniawski, Z. T. (1989). *Engineering Rock Mass Classifications*. New York: Wiley-Interscience. (Referensi utama untuk sistem Rock Mass Rating (RMR) yang digunakan dalam penentuan metode penggalian).
2. Hoek, E. (2006). *Practical Rock Engineering*. (Landasan teori mengenai sistem perkuatan seperti rock bolt dan shotcrete serta perilaku massa batuan).
3. Kementerian Pekerjaan Umum. (2011). *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 19 Tahun 2011 tentang Persyaratan Teknis Jalan dan Kriteria Perencanaan Teknis Jalan*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum.
4. Kolymbas, D. (2005). *Tunnelling and Tunnel Mechanics: A Comprehensive Guide to Tunnel Design*. Berlin: Springer. (Referensi umum untuk metode Drill and Blast, Roadheader, dan TBM).

5. Maidl, B., Herrenknecht, M., & Anheuser, L. (2012). *Mechanised Tunnelling in Soft Ground*. Berlin: Ernst & Sohn. (Referensi teknis mengenai penggunaan Tunnel Boring Machine (TBM) dan metode perisai/Shield Tunnel).
6. Szechy, K. (1973). *The Art of Tunnelling*. Budapest: Akademiai Kiado. (Referensi klasik mengenai klasifikasi lokasi terowongan seperti pegunungan dan bawah air).
7. Whittaker, B. N., & Frith, R. C. (1990). *Tunnelling: Design, Stability and Construction*. London: Institution of Mining and Metallurgy. (Referensi mengenai manajemen pemeliharaan dan monitoring struktur seperti penggunaan extensometer dan piezometer).



Nomor Identifikasi: 007-PUB-2026-VIII

Dicetak: 7 September 2026, 17:50

Revisi terakhir: 19 August 2026

Pindai kode QR untuk memastikan dokumen ini sesuai versi resmi terkini di
<https://pakarbangunan.com/>

