

## TINJAUAN ASPEK KEREKAYASAAN PADA RANCANGAN TEROWONGAN UNTUK SIPIL DAN TAMBANG

S. Koesnaryo<sup>1</sup>, Tien Veny Vera<sup>2</sup>, Ardy Pramesti Putri Arindry<sup>3</sup>, Muhammad Cholid<sup>4</sup>

<sup>1/2</sup>Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta

Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Mineral, UPN “Veteran” Yogyakarta,

Jl. Pajajaran 104 (Lingkar Utara), Yogyakarta 55283 Indonesia

e-mail : <sup>1</sup> [koesnaryo\\_s@yahoo.co.id](mailto:koesnaryo_s@yahoo.co.id), <sup>2</sup> [globetien99@gmail.com](mailto:globetien99@gmail.com), <sup>3</sup> [apramesti88@gmail.com](mailto:apramesti88@gmail.com),  
<sup>4</sup> [cholid.rcindo@gmail.com](mailto:cholid.rcindo@gmail.com)

### ABSTRACT

*The importance of design concepts in civil and mining development, both of which have the same basis, namely being below the ground surface. Indonesia's topography, which has many contours and geological conditions rich in minerals, is considered to provide great potential and challenges for the development of civil and mining technology in Indonesia. This study aims to determine the types, construction methods and design methods, similarities and differences between civil and mining designs. Broadly speaking, the different characteristics of usability and mining are aspects/functions. Civil tunnels are intended for transportation of vehicles, mining equipment, aiming to take excavations that are underground, with a depth that sticks to the minerals located. have in common that they are both underground, require important stages ranging from routes and alignment, evaluation of geological, geotechnical and hydrogeological conditions, portal planning, estimating plans and retrofitting systems, so that facilities, facilities and hydrogeology evaluate the influence of the surrounding area.*

*Keywords: Civil tunnels, mining tunnels, methods, construction*

### ABSTRAK

Pentingnya konsep rancangan dalam membangun terowongan sipil dan tambang, keduanya memiliki dasar yang sama, yaitu berada dibawah permukaan tanah. Kondisi topografi Indonesia yang memiliki banyak kontur pegunungan dan kondisi geologi yang kaya akan mineral tambang dinilai memberikan potensi besar dan tantangan untuk perkembangan teknologi terowongan sipil dan tambang di Indonesia. Kajian ini bertujuan untuk mengetahui jenis, metode konstruksi dan metode rancangan, persamaan dan perbedaan rancangan antara terowongan sipil dan tambang. Secara garis besar, perbedaan karakteristik terowongan sipil dan tambang adalah aspek tujuan/fungsi. Terowongan sipil bertujuan untuk jalur transportasi kendaraan, sedangkan terowongan tambang bertujuan untuk mengambil galian tambang yang ada di bawah tanah, dengan kedalaman yang mengikuti endapan mineral berada. Keduanya memiliki kesamaan yaitu sama-sama berada di bawah tanah, sehingga membutuhkan tahapan rancangan terowongan yang detil mulai dari penentuan rute dan alignment, evaluasi kondisi geologi, geoteknik dan hidrogeologi, perencanaan portal, penentuan metode penggalian dan sistem perkuatan, dinding terowongan, fasilitas terowongan dan evaluasi pengaruh pada daerah sekitar.

Kata Kunci : Terowongan sipil, terowongan tambang, metode, konstruksi

### I. PENDAHULUAN

Terowongan adalah lubang bukaan mendatar atau sedikit miring yang dibuat di bawah tanah, gunung, sungai, laut, daerah industri, bahkan permukiman padat penduduk (Tampubolon, 2007). Terowongan adalah struktur bawah tanah yang mempunyai panjang lebih dari lebar penampang galiannya, dan mempunyai gradien memanjang kurang dari 15%. Terowongan umumnya tertutup di seluruh sisi kecuali di kedua ujungnya yang terbuka pada lingkungan luar. Beberapa ahli teknik sipil mendefinisikan terowongan sebagai sebuah tembusan di bawah permukaan yang memiliki panjang minimal 0,1 mil (160,9 meter) dan yang lebih pendek disebut *underpass* (Rahardjo, 2004). Terowongan yang dibuat untuk mengambil bahan

galian di bawah tanah, dikenal dengan terowongan tambang. Terowongan yang dibuat untuk menembus rintangan alam atau rintangan yang dibuat oleh manusia disebut dengan terowongan sipil. Konsep rancangan terowongan berbeda dengan rancangan struktur/bangunan. (Hoek & Brown, 1980) memberikan filosofi mengenai rancangan yang baik yaitu setiap rancangan untuk penggalian dibawah tanah (*underground excavation*) harus menggunakan batuan itu sendiri sebagai struktur material yang utama, menghasilkan gangguan yang sekecil mungkin selama penggalian dan menambah sesedikit mungkin beton dan penyangga baja. Dalam keadaan sebenarnya dan batuan mengalami tegangan tekan, batuan keras dapat lebih kuat dari beton dan ada yang sama

kekuatannya dengan baja. Sehingga tidak akan memberi arti ekonomis dengan menggantikan material yang cukup memadai dengan suatu material yang mungkin tidak lebih baik. Rancangan rekayasa yang baik adalah rancangan yang seimbang dalam semua faktor yang saling berkaitan, meskipun itu tidak selalu dapat dikuantifikasikan, harus dimasukkan dalam perhitungan. Oleh karena itu, interpretasi yang akurat geologi merupakan prasyarat penting untuk rasio perancangan terowongan

## II. METODE

Terowongan adalah rongga yang terletak di bawah permukaan tanah/batuan dan digunakan dalam beberapa cara dan dibuat menjadi geometri yang ditentukan dan memiliki ukuran dua meter persegi atau lebih (JICA, 2018). Jenis penggalian bawah tanah dari sudut pandang insinyur geoteknik, sebagian besar penggalian bawah tanah terkait dengan tingkat stabilitas atau keamanan yang diperlukan dari batuan di sekitar penggalian. (Barton et al., 1974) menyarankan untuk kategori penggalian bawah tanah:

- a. Pembukaan tambang sementara.
- b. Poros *vertikal*.
- c. Bukaian tambang permanen, terowongan air untuk pembangkit listrik tenaga air proyek (tidak termasuk *penstock* bertekanan tinggi), terowongan pilot, *drift* dan *heading*, untuk penggalian besar
- d. Ruang penyimpanan, instalasi pengolahan air, jalan kecil dan terowongan kereta api, ruang gelombang dan akses terowongan dalam proyek pembangkit listrik tenaga air.
- e. Pembangkit listrik bawah tanah, jalan utama dan terowongan kereta api, ruang pertahanan sipil, terowongan portal dan persimpangan.
- f. Pembangkit listrik tenaga nuklir bawah tanah, stasiun kereta api, olahraga dan fasilitas umum.

Dalam mekanika batuan, perancang berhubungan dengan massa batuan yang alamiah/kompleks dan sifat-sifat material yang spesifik. Hal yang lebih penting dari pada pengenalan beban pada massa batuan adalah gaya-gaya yang dihasilkan oleh *redistribusi* dari tegangan asli (*original stress*) akibat adanya suatu penggalian. Juga adanya beberapa kemungkinan jenis *failure* didalam struktur batuan sehingga penentuan dari kekuatan dari konfigurasi geologi. Rancangan penggalian pada batuan harus memperhatikan kondisi geologi, terutama kemungkinan resiko geologi. Setiap pendekatan rancangan penggalian didalam batuan merupakan kerjasama yang erat antara ahli mekanika batuan dan ahli geologi teknik. Rancangan penggalian didalam batuan membutuhkan pertimbangan ekstra termasuk kondisi geoteknik yang khusus. Selain itu, dalam rancangan terowongan mencakup aspek-aspek rencana untuk lokasi, menentukan ukuran dan

bentuknya, orientasi dan tata letaknya, metode penggalian, pemilihan penyangga dan instrumentasi. Jadi peran geomekanika dalam suatu proses rancangan penggalian bawah tanah adalah memberikan data masukan dan analisis rancangan, mulai dari tahap rancangan awal sampai rancangan final, berlanjut ketahap operasional penggalian. (Bieniawski, 1984) tahapan perencanaan pembuatan terowongan secara umum dibagi 5 tahap, yaitu pengumpulan data awal, studi kelayakan, karakterisasi lokasi teknik, analisis kemandapan, rancangan akhir dan konstruksi dimana pentahapannya dapat dilihat pada Gambar 2. Dari diagram tersebut dapat dilihat bahwa tidak ada rancangan rekayasa batuan dapat dianggap selesai sebelum konstruksi dari struktur selesai semuanya. Tahapan perencanaan pembuatan terowongan dibagi menjadi beberapa tahap, yaitu penentuan rute dan *alignment*, evaluasi kondisi geologi, geoteknik dan hidrogeologi, perencanaan portal, penentuan metode penggalian dan sistem perkuatan, dinding terowongan, fasilitas terowongan dan evaluasi pengaruh pada daerah sekitar.

Terdapat lima macam bentuk terowongan yang sering digunakan dalam infrastruktur antara lain:

1. Terowongan lingkaran.  
Terowongan bentuk ini cocok untuk menahan efek tekanan internal atau eksternal yang tinggi serta cocok untuk saluran atau terowongan air.
2. Terowongan persegi.  
Terowongan bentuk ini cocok dibangun pada lapisan tanah berjenis batuan keras, tetapi terowongan ini tidak ekonomis dan tingkat kesulitan dalam pembangunannya tinggi.
3. Terowongan tapal kuda.  
Terowongan bentuk ini cocok dibangun pada lapisan tanah berjenis soft soils, lebih cocok untuk terowongan kereta api karena memiliki dimensi yang lebar.
4. Terowongan berbentuk huruf "D"  
Terowongan bentuk ini cocok untuk terowongan kereta bawah tanah (Sub-ways) dan terowongan navigasi.
5. Terowongan bentuk telur.  
Terowongan bentuk ini sama dengan terowongan bentuk lingkaran yang mampu menahan tekanan yang tinggi dari dalam maupun dari luar terowongan

Terowongan berdasarkan kegunaannya dapat diklasifikasikan ke dalam 2 bagian yaitu: (Rai, M. A., Kramadibrata, S. dan Wattimena, 2014)

- a. Terowongan lalu lintas  
Terowongan ini terdiri dari 6 jenis: terowongan kereta api, terowongan jalan raya, terowongan pejalan kaki, terowongan navigasi, terowongan transportasi di bawah kota, dan terowongan transportasi di tambang bawah tanah.
- b. Terowongan angkutan  
Terowongan ini terdiri dari 5 jenis: terowongan stasiun pembangkit listrik tenaga air, terowongan

penyediaan air, terowongan penyediaan air, terowongan untuk saluran air kotor, terowongan yang digunakan untuk kepentingan umum, dan terowongan untuk angkutan di dalam daerah industri pabrik.

Ada tiga jenis terowongan terowongan berdasarkan material di lapangan, yaitu (Rahardjo, 2004) :

1. Terowongan batuan (*Rock Tunnels*)  
Terowongan batuan dibuat langsung pada batuan massif dengan cara pemboran atau peledakan. Terowongan batuan umumnya lebih mudah dikonstruksikan daripada terowongan melalui tanah lunak karena pada umumnya batuan dapat berdiri sendiri kecuali pada batuan yang mengalami *fracture*.
2. Terowongan melalui tanah lunak (*Soft Ground Tunnels*)  
Terowongan melalui tanah lunak dibuat melalui tanah lempung atau pasir atau batuan lunak (*soft rock*). Karena jenis material ini runtuh bila digali, maka dibutuhkan suatu dinding atau atap yang kuat sebagai penahan bersamaan dengan proses penggalian. Umumnya digunakan *shield* (pelindung) untuk memproteksi galian tersebut agar tidak runtuh. Teknik yang umum digunakan pada saat ini adalah *shield tunneling* pada terowongan melalui tanah lunak, *lining* langsung dipasang dibelakang *shield* bersamaan dengan pergerakan maju dari mesin bor terowongan (*Tunnel Boring Machine*).
3. Terowongan gali-timbun (*Cut and Cover Tunnels*)  
Terowongan ini dibuat dengan cara menggali sebuah trench pada tanah, kemudian dinding dan atap terowongan dikonstruksikan di dalam galian. Sesudah itu galian ditimbun kembali dan seluruh struktur berada dibawah timbunan tanah.

Balai Geoteknik Jalan membuat klasifikasi terowongan jalan menjadi 4 jenis yaitu terowongan di bawah air (*Immersed Tunnel*), terowongan perisai (*Shield Tunnel*), terowongan pegunungan (*Mountain Tunnel*) dan terowongan lintas bawah (*Underpass*). Pemilihan jenis terowongan tersebut tentunya harus mempertimbangkan klasifikasi tanah/batuan (tipe batuan, *mix face*, atau tanah lunak) sekitar lokasi rencana pembangunan terowongan. Misalnya, untuk klasifikasi tanah dengan tipe batuan, maka jenis terowongan yang cocok adalah terowongan perisai atau terowongan pegunungan. Evaluasi alternatif masing-masing tipe terowongan dengan aspek-aspek yang harus diperhatikan antara lain:

1. Studi rute, yaitu memperhitungkan peningkatan waktu dan jarak tempuh
2. Studi finansial, yaitu menganalisis biaya siklus umur rencana
3. Tipe konstruksi, yaitu kemampuan untuk melaksanakan sesuai dengan jenis terowongan yang akan dibuat

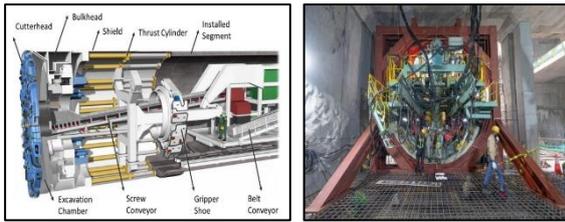
4. Penyelidikan geoteknik, yaitu melakukan identifikasi potensi masalah dan penentuan tipe konstruksi
5. Aspek lingkungan dan kemasyarakatan yaitu meningkatkan kualitas udara, mengurangi kebisingan dan dampak terhadap peningkatan ekonomi
6. Pengoperasian yaitu pengendalian lalu lintas, ventilasi, pencahayaan, sistem penunjang keselamatan pengguna jalan, peralatan pemeliharaan, pembersihan rutin, dll
7. Keberlanjutan (*sustainability*) yaitu peluang untuk pengembangan tanah dan perumahan, fasilitas komersil atau hiburan disekitar dan sepanjang trase jalan.

### III. Hasil

Berdasarkan jenis lapisan tanah dan batuan yang berbeda-beda membuat metode konstruksi untuk pembuatan terowongan menyesuaikan dengan kondisi yang ada di lapangan. Metode konstruksi yang lazim digunakan dalam pembuatan terowongan dibagi dalam beberapa macam, yaitu :

#### 1. *Tunnel Boring Machine* (TBM)

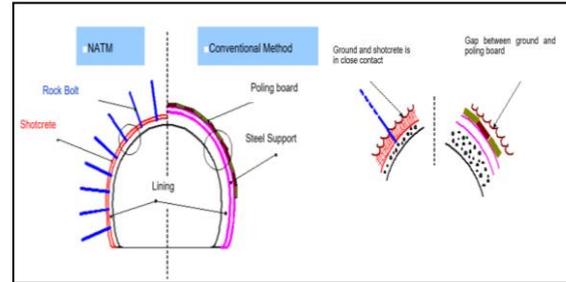
*Tunnel bor machine* (TBM) adalah alat penggali terowongan yang bentuk mesinnya berupa silinder, sehingga penampang terowongan yang terbentuk akan berbentuk lingkaran. TBM yang lengkap bisa mencapai panjang 300 meter yang terdiri dari alat pemotong, alat penggali, sistem kemudi, gripper, pengebor, pengontrol, penyokong tanah, pemasang lining, alat pemindah material, sistem ventilasi serta sumber tenaga. TBM berfungsi untuk proses tunneling sekaligus *ring building* (Gambar 1). Pada proses *Tunneling, cutter head* pada TBM berfungsi untuk menggerus tanah. Lalu tanah hasil gerusan dari *cutter head* disimpan ke dalam *mixing chamber*. Selanjutnya tanah tersebut dibawa oleh *screw conveyor* dan diteruskan ke *belt conveyor* untuk selanjutnya dibuang ke luar area terowongan. Pada saat yang bersamaan proses *ring building* dilakukan. Pada proyek MRT Jakarta, *ring building* ini terdiri dari segmen-segmen beton. Nantinya setelah terbentuk satu ring beton utuh, mesin TBM akan bergerak maju. Keuntungan TBM adalah dapat memperkecil gangguan pada tanah sekitarnya dan menghasilkan dinding terowongan yang halus. Hal ini secara signifikan dapat mengurangi biaya tambahan untuk proses lapisan pada terowongan, cocok untuk digunakan di daerah perkotaan agar dalam proses konstruksinya tidak menimbulkan gangguan yang besar. Kerugiannya adalah membutuhkan biaya yang tidak sedikit dan sulit untuk dimobilisasi.



Gambar 1. (a) Bagian dari *Tunneling Bor Machine* TBM) (credit to *railssystem.net*) (b). *Tunneling Bor Machine* (TBM) pada proyek *Mass Rapid Transit* (MRT), Jakarta

## 2. NATM (*New Austrian Tunneling Method*).

NATM adalah Metode memproduksi ruang bawah tanah dengan menggunakan semua cara yang tersedia untuk memperkuat kapasitas batuan atau tanah itu sendiri sehingga dapat memberikan stabilitas pada terowongan. Prinsip dari metode konstruksi NATM adalah penggalian terowongan dengan menggunakan bantuan shotcrete dan rockbolt sebagai penyangga sebelum struktur lining terpasang (Sauer, 1988). NATM memiliki tujuan untuk terbentuknya sistem pendukung terowongan yang stabil dan lebih ekonomis, metode ini telah sangat berguna pada kondisi geologi yang tidak fleksibel di mana perkiraan massa batuan sulit karena perubahan geologi yang cepat. Prosedur desain pedoman NATM untuk "desain geomekanis struktur bawah tanah" membutuhkan kolaborasi erat antara ahli geologi, geoteknik dan insinyur sipil, namun tanpa mengalokasikan kompetensi. (Schwarz et al., 2004). NATM cukup berbeda dengan metode konvensional dan dapat dikatakan bahwa metode konstruksi Gambar 2 menunjukkan perbedaan antara NATM dan metode konvensional (JICA, 2018).



Gambar 2. Perbandingan antara NATM dan Metode Konvensional

Prinsip yang perlu diperhatikan dari metode konstruksi dengan NATM adalah:

1. **Kekuatan massa batuan**  
Kekuatan yang melekat dari tanah atau batu di sekitar terowongan harus dipertahankan dan sengaja dimobilisasi semaksimal mungkin. Mobilisasi dapat tercapai sehingga deformasi tanah dapat dikontrol. Deformasi berlebihan yang akan mengakibatkan hilangnya kekuatan atau penurunan permukaan yang tinggi
2. **Sistem Pendukung**  
Sistem pendukung awal dan primer yang terdiri dari *rockbolt* dan *shotcrete* tipis semi fleksibel digunakan untuk meminimalkan deformasi yang terjadi pada saat penggalian. Di perlukan untuk penanganan terhadap deformasi massa batuan yang longgar dan berlebihan dan harus diminimalkan dengan menerapkan lapisan 25-50 mm dari *sealing shotcrete* segera setelah pembukaan wajah galian terowongan, kadang seiringan dengan sistem yang cocok dari *rock bolting*, setelah penggalian
3. **Pengukuran**  
Setiap deformasi galian harus diukur. NATM membutuhkan pemasangan instrument dan pengukuran yang canggih. Hal itu tertanam di lapisan, tanah seperti sel beban, dan munculnya beban pada penyangga.
4. **Lapisan Primer**  
Lapisan primer tipis atau *primary lining* adalah penopang aktif dan terowongan diperkuat bukan oleh lapisan beton yang lebih tebal tetapi dengan kombinasi fleksibel dari *rock bolt*, *wire mesh*, dan *lattice girder*.
5. **Penutup invert**  
Kemampuan dukung massa batuan belum sampai termobilisir secara penuh. Massa batuan harus diizinkan untuk melakukan deformasi yang cukup sebelum penyangga bekerja penuh. Pembuatan penutup invert dan membuat cincin bantalan beban harus disesuaikan dengan waktu yang tepat serta tergantung pada kondisi tanah di lapangan.
6. **Klasifikasi massa batuan**

Partisipasi ahli geologi sangat penting sebagai pendukung utama serta perancangan lebih lanjut selama penggalian batuan karena memerlukan klasifikasi massa batuan. Penentuan penyangga berdasarkan pada klasifikasi massa batuan pada tiap siklus pemboran dan peledakan sesudahnya. Klasifikasi NATM menghubungkan antara kondisi massa batuan, prosedur penggalian dan kebutuhan dari penyangga terowongan. Klasifikasi merupakan bagian dari kontrak yang dapat digunakan untuk proyek yang baru berdasarkan pengalaman sebelumnya dan investigasi geoteknik rinci.

7. Desain Dinamis

Desainnya dinamis selama konstruksi terowongan dan setiap klasifikasi pembukaan batu dilakukan dukungan yang dipilih. Selain itu, desain diperkuat lebih lanjut berdasarkan informasi yang disadari selama pemantauan pekerjaan. Sangat penting untuk secepat mungkin diusahakan menutup *invert* untuk menyelesaikan pekerjaan sebagai penahan beban, terutama pada terowongan tanah yang lunak *invert* harus segera ditutup dan tidak boleh ada bagian yang tidak segera disangga meskipun untuk sementara karena dapat menyebabkan ada bagian yang tidak tertahan. Untuk terowongan di batuan, penyangga tidak boleh dipasang terlalu awal/cepat.

Tahapan pertama dalam metode NATM adalah proses penggalian pada area terowongan yang dapat dilakukan dengan menggunakan alat *twin header*. Pembuangan tanah kerukan dapat menggunakan loader tertentu disesuaikan dengan diameter *tunnel*. Setelah itu dilanjutkan dengan pekerjaan *temporary support* menggunakan *rock bolt*, *wire mesh* dan *steel rib*. Proses proteksi pada area dinding dengan menggunakan *shotcrete*. Selanjutnya untuk *ring building*, dilakukan secara *cast in situ*, didahului dengan pembesian dinding struktur dan pengecoran. Pada tahapan akhir dilakukan *back fill grout* untuk memperbaiki retak-retak yang terjadi pada dinding *tunnel*. Saat ini NATM sedang digunakan di proyek Terowongan Cisumdawu dan di Proyek Terowongan Notog, Purwokerto. (Gambar 3



Gambar 3. Teknologi *New Austrian Tunneling Method* (NATM) pada Terowongan Tol

Cisumdawu dan Terowongan Notog, Purwokerto.

(Tampubolon, 2007) mengklasifikasikan pembuatan lubang terowongan menjadi 2 bagian yaitu cara portal dan *open cut*, dengan metode penggalian terowongan antara lain:

a. Metode *full-face*

Penampang terowongan digali secara bersamaan. Cocok untuk penampang melintang kecil hingga diameter 3 m, tapi dengan gunakan *Drill jumbo* menjadi dapat untuk terowongan ukuran besar. Keuntungan cara ini adalah pekerjaan menjadi lebih cepat, lintasan pembuangan hasil peledakan dapat langsung dipasang bersamaan dengan proses penggalian berikutnya dan proses *tunneling* dapat dilakukan secara kontinu. Membutuhkan banyak alat mekanis saat penggalian, tidak dapat digunakan untuk batuan yang tidak stabil, dan hanya terbatas untuk terowongan yang lintasannya pendek adalah bentuk dari kerugian metode ini.

b. Metode *heading* dan *bench*

Penampang terowongan digali secara bertahap. Penggalian dibagian atas terowongan digali lebih dulu sampai mencapai 3-3.5 m (*heading*), selanjutnya penggalian bagian bawah penampang dikerjakan (*bench cut*) sampai membentuk penampang yang diinginkan. Keuntungan metode ini memungkinkan pekerjaan pengeboran dan pembuangan sisa peledakan dilakukan secara simultan, efektif untuk ukuran terowongan penampang besar dan lintasan, dan dapat diterapkan untuk setiap kondisi batuan. Kerugian metode ini membutuhkan waktu yang lebih lama bila dibandingkan metoda *full face*.

c. Metode *drift*

Penampang terowongan digali dengan pembuatan/penggalian lubang, yang perluasan penggaliannya dengan lubang-lubang untuk bahan peledak yang dibor melingkar oleh alat bor yang dipasang pada sumbu terowongan. Keuntungannya adalah sistem ventilasinya baik, tidak memerlukan sistem penyangga sementara, dan *mucking* dapat dikerjakan bersama dengan pekerjaan penggalian. Kerugiannya adalah pekerjaan perluasan harus menunggu *center drift* selesai secara keseluruhan, dan alat bor dipasang dengan pola tertentu, seringkali spasi alat bor dirubah sesuai dengan kondisi batuan yang diledakan.

d. Metode *vertical shaft*

Penampang terowongan digali dengan membuat lubang vertikal tegak lurus sampai pada terowongan yang akan digali. Sumuran dapat bersifat sementara atau permanen. Sumuran sementara berfungsi saat pelaksanaan membantu pembuangan pelaksanaan pembuangan sisa-sisa peledakan (*mucking*),

salah satu jalur untuk mensuplai peralatan dan material, dsb. Sumuran permanen bila masih tetap berfungsi setelah terowongan mulai digunakan untuk keperluannya, misal sebagai sarana *ventilasi*.

e. Metode *pilot tunnel*

Penampang terowongan utama digali dengan metode *drift*, kemudian pada setiap interval tertentu, digali suatu potongan menyilang sampai memotong sumbu utama terowongan. Keuntungannya adalah efektif untuk terowongan yang lintasannya panjang, dengan topografi yang tidak memungkinkan untuk membuat sumuran, *pilot tunnel* dengan sendirinya merupakan sistem *ventilasi*, *mucking* dapat dilakukan dengan cepat. Kerugiannya adalah memerlukan lebih banyak waktu dan biaya dibandingkan dengan metoda penggalian lainnya.

Tahapan pemilihan metode penggalian adalah sebagai berikut:

- a. Evaluasi kondisi media berdasarkan kajian pengujian lapangan dan laboratorium
- b. Tentukan kategori batuan/tanah
- c. Evaluasi kelebihan dan kekurangan metode penggalian dan pembagian muka bidang galian berdasarkan aspek-aspek teknis dan kemudahan pelaksanaan.
- d. Tentukan metode dan tipikal penggalian

**IV. PEMBAHASAN**

Dalam pembuatan terowongan, baik untuk terowongan sipil atau tambang, semuanya harus memiliki rencana rancangan yang detil dan matang, mengingat tingkat keamanan serta tujuan dibuatnya terowongan memiliki syarat dan ketentuan masing-masing.

Metode rancangan untuk menilai kestabilan suatu penggalian bawah tanah (tambang bawah tanah atau terowongan) dapat dikategorikan sebagai berikut (Bieniawski, 1984) :

1) Metode Analitik

Digunakan untuk menganalisis tegangan dan deformasi disekitar lubang bukaan. Teknik-teknik yang dipakai adalah *solusi closed form* dan metode numerik yaitu :

- Perhitungan numerik seperti metode elemen hingga, metode perbedaan hingga, metode elemen batas.
- Simulasi analogi seperti analogi listrik dan fotoelastik.
- Model fisik seperti penggunaan maket.

2) Metode Observasi

Metode untuk analisis berdasarkan pada data pemantauan pergerakan massa batuan sewaktu penggalian untuk mengamati ketidakmampuan dan analisis interaksi penyanggaan terhadap massa batuan. Pada metode ini dikenal NATM (*New Austrian Tunneling Method*) dan "*Convergence-Confinement Method*".

Disamping merupakan metode yang terpisah metode ini merupakan cara untuk memeriksa balik hasil dari metode lain.

3) Metode Empirik

Metode untuk menilai kestabilan sebuah tambang bawah tanah dan terowongan dengan menggunakan analisis statistik. Pada umumnya dilakukan pendekatan berdasarkan pengalaman yang didapat dari beberapa pekerjaan yang serupa sebelumnya. Klasifikasi massa batuan adalah pendekatan empirik yang paling baik untuk menilai kestabilan sebuah lubang bukaan dibawah tanah. Saat ini dikenal klasifikasi batuan diantaranya dari Terzaghi (1946). Deere (1967), Bieniawski (1973) Norwegian Geotechnical Institute / NGI (1974), dan sebagainya.

Sebagai tambahan, ada dua pendekatan lainnya yang digunakan yaitu teknik geologi dan pertimbangan-pertimbangan yang harus dipenuhi (peraturan-peraturan pertambangan dan penerowongan). Semua metode membutuhkan masukan kondisi geologi dan pertimbangan yang sesuai dengan peraturan keselamatan kerja. Teknik geologi digunakan untuk mengidentifikasi struktur geologi dan gambaran lainnya yang mempengaruhi kestabilan struktur. Untuk itu maka dilakukan pemetaan geologi, pemetaan isopach, foto udara, analisis kelurusan (*lineament analysis*), foto dari satelit, pembaran inti.

Terowongan dapat diklasifikasikan berdasarkan berbagai kriteria. Kriteria yang paling dasar adalah mengklasifikasikan terowongan menjadi terowongan sipil dan terowongan tambang. Kriteria ini menyangkut faktor keamanan, kenyamanan serta biaya yang sangat berpengaruh dalam perancangan sebuah terowongan. Banyak kriteria yang membedakan antara terowongan sipil dengan terowongan tambang yaitu dapat dilihat pada tabel 1 dibawah ini :

Tabel 1. Perbedaan-perbedaan yang mendasar pada terowongan sipil dan tambang

TEROWONGAN SIPIL	TEROWONGAN TAMBANG
Bersifat permanen	Bersifat sementara, kandungan mineral yang akan ditambang
Untuk melayani kepentingan umum (transportasi, dll)	digunakan untuk kepentingan khusus (pekerja atau aktifitas tambang).
Tidak terlalu panjang	Sangat panjang karena mineral-mineral yang akan diambil sangat jauh didalam tanah

Ditempatkan pada batuan atau daerah ruang memerlukan eksplorasi detail	Kondisi batuan dalam pertambangan lebih teridentifikasi karena aktivitas penambangan sudah berlangsung selama bertahun-tahun
Dibangun pada kedalaman kurang lebih 500m	Umumnya sangat dalam
Kondisi tegangan bersifat statis	Kondisi tegangan bersifat dinamis, karena pada tambang kegiatan penggalian berlangsung secara terus menerus sehingga perubahan tegangan pada batuan akan selalu berubah-ubah
Lokasi pada tanah / batuan yang baik	Lokasi ditentukan oleh daerah-daerah yang mengandung mineral tambang.
Biasanya dibangun pada lokasi yang baru sehingga memerlukan penyelidikan geoteknik yang baru dan terperinci.	Jalur di mana terowongan tambang dibuat umumnya secara geologi telah diketahui cukup rinci karena adanya survey yang mendalam bersamaan dengan penyelidikan potensi material tambangnya
Biaya penyelidikan terowongan sipil jauh lebih besar karena tuntutan masalah keamanan	Biaya penyelidikan terowongan tidak sebesar pada terowongan sipil

Adapun persamaan antara terowongan sipil dan tambang antara lain :

- Ventilasi  
Ventilasi merupakan upaya pengontrolan terhadap kualitas dan kuantitas udara tambang. Pengendalian kualitas udara tambang bertujuan untuk pengendalian terhadap gas-gas yang berbahaya maupun debu-debu tambang serta pengaturan temperatur dan kelembaban udara tambang. Sedangkan pengendalian kuantitas udara bertujuan untuk mengatur jumlah udara bersih yang mengalir ke dalam tambang sehingga udara yang dialirkan tersebut mencukupi sesuai jumlah yang dibutuhkan (Harry, 2004).
- Penerangan  
Tujuan dasar pencahayaan terowongan adalah untuk memberikan jarak pandang yang cukup dan nyaman bagi pengguna

terowongan sehingga pengguna terowongan dapat melalui terowongan dengan aman, baik di siang hari maupun di malam hari (L'Ecclairage, 2004).

- *Monitoring*  
Memeriksa kemungkinan lubang bukaan dari ketidakstabilan, kemudian mengambil suatu tindakan perbaikan yang tujuannya adalah untuk melindungi manusia dan peralatan serta mengamati kondisi lingkungan di sekitar terowongan.
- *Ground support*  
Menjaga tanah/batuan atau bagian terowongan agar tidak bergerak, sehingga menjaga kekuatan dari dinding dan atap yang menopang terowongan, seperti *shootcrete, rockbolt, steel set, wire mesh*, dll.

## V. KESIMPULAN

Data masukan yang diperlukan untuk tujuan rancangan meliputi karakteristik geologi dari massa batuan, evaluasi dari tegangan mula-mula (*intial stress*) didalam massa batuan, sifatsifat mekanik dari massa batuan dan kondisi air tanah. Penyelidikan dan pengukuran untuk mendapatkan data masukan tersebut harus direncanakan dengan baik dengan mengikuti prosedur dan metode pengukuran yang telah dibakukan dan harus sesuai dengan maksud dari proyek yang dirancang. Penentuan parameter masukan untuk rancangan harus direncanakan agar sebanyak mungkin data-data yang diperoleh adalah data kuantitatif, daripada data kualitatif. Mengenai data masukan ini ada tiga hal penting yang perlu diperhatikan yaitu:

1. Kualitas dari rancangan rekayasa langsung dipengaruhi oleh kualitas dari setiap parameter masukan.
2. Setiap prosedur dan metode yang digunakan untuk mendapatkan data masukan dapat sepenuhnya dibenarkan dan direncanakan dengan baik.
3. Informasi secara kuantitatif lebih banyak dibutuhkan dari pada secara kualitatif untuk keperluan rancangan.

Secara garis besar, perbedaan karakteristik terowongan sipil dan tambang adalah aspek tujuan/fungsi. Terowongan sipil bertujuan untuk jalur transportasi kendaraan, sedangkan terowongan tambang bertujuan untuk mengambil galian tambang yang ada di bawah tanah, dengan kedalaman yang mengikuti endapan mineral berada. Keduanya memiliki kesamaan yaitu sama-sama berada di bawah tanah, sehingga membutuhkan tahapan rancangan terowongan yang detail mulai dari penentuan rute dan *alignment*, evaluasi kondisi geologi, geoteknik dan hidrogeologi, perencanaan portal, penentuan metode penggalian dan sistem perkuatan, dinding terowongan, fasilitas

terowongan dan evaluasi pengaruh pada daerah sekitar.

## VI. DAFTAR PUSTAKA

- Barton, N., Lien, R., & Lunde, J. (1974). *Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support- Rock Mechanics* (6th ed.).
- Bieniawski, Z. T. (1984). *Rock Mechanics Design in Mining and Tunneling*.
- Harry, W. (2004). *Diklat Pengenalan Pertambangan Bagi Aparatur Non Teknis Di Kabupaten Sumatera Barat*.
- Hoek, E. ., & Brown, E. . T. (1980). *Underground Excavations in Rock, The Institution Of Mining And Metallurgy*. E & FN Spon.
- JICA, R. D. A. (RDA) J. I. C. A. (2018). *Guideline for Design of Road Tunnel*. Technical Assistance for Improvement of Capacity for Planning of Road Tunnels Japan - Sri Lanka.
- L'Ecclairage, C. I. de. (2004). *CIE Technical Report : Guide for Lighting Road Tunnel and Underpasses CIE 88-2004* (Vol. 2).
- Rahardjo, P. P. (2004). *Teknik Terowongan*. Bandung. Universitas Parahyangan Bandung.
- Rai, M. A., Kramadibrata, S. dan Wattimena, R. K. (2014). *Mekanika Batuan*. ITB.
- Sauer, G. (1988). When an invention is something new: from practice to theory in tunnelling. *Transactions of the Institution of Mining & Metallurgy*, 97, A94–A108.
- Schwarz, L., Eder, S., Mattle, B., & Hammer, H. (2004). Austrian Guideline for Geomechanical Design of Tunnels - Necessity for Cooperation between Geologists, Geotechnical and Civil Engineers. *Lecture Notes in Earth Sciences*, 104. [https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-540-39918-6\\_5](https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-540-39918-6_5)
- Tampubolon, A. H. (2007). *Studi Analisis Pengaruh Pembangunan Terowongan MRT terhadap Lingkungan Sekitar dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga*.