



## Pelaksanaan Pekerjaan Sipil Pada Konstruksi Headrace Tunnel PLTA Jatigede 2x55 MW Chainage PT0+907,609 – PT0+967,609

Andrew B. Kermite<sup>1\*</sup>, Agus Suprihanto<sup>1,2</sup>, Widayat Widayat<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Program Profesi Insinyur Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,

<sup>2</sup> Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,

<sup>3</sup> Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,

Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

\*Corresponding author: andrewbryanokermite@students.undip.ac.id

(Received: December 16, 2024; Accepted: March 13, 2025)

### Abstract

**Implementation of Civil Works on the Construction of the Jatigede 2x55 MW Hydroelectric Power Plant Headrace Tunnel Chainage PT0+907,609 – PT0+967,609.** The implementation of civil works on the headrace tunnel (HT) in the Hydroelectric Power Plant (PLTA) project requires careful planning, design and implementation to ensure success in the construction of efficient and safe infrastructure. The headrace tunnel is a critical element in the hydroelectric power plant system, functioning to channel water from the reservoir to the turbine. This article discusses the process of implementing civil works in the construction of the headrace tunnel on the Jatigede 2x55 MW Hydroelectric Power Plant project Chainage PT0+907,609 – PT0+967,609. The main focus of this study includes the selection of construction methods on the headrace tunnel, such as excavation work, steel support work, rockbolt installation, reinforcement work, concrete lining work, backfill grouting work and consolidation grouting work. The results of this study are expected to be a reference for the implementation of similar projects in the future.

**Keywords:** headrace tunnel, hydropower civil works, tunnel construction, geological stability, risk management

### Abstrak

Pelaksanaan pekerjaan sipil pada *headrace tunnel* (HT) pada proyek Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) memerlukan perencanaan, desain dan pelaksanaan yang cermat untuk memastikan keberhasilan dalam pembangunan infrastruktur yang efisien dan aman. *Headrace tunnel* merupakan elemen kritis dalam sistem pembangkit PLTA, berfungsi untuk mengalirkan air dari waduk menuju turbin. Artikel ini membahas proses pelaksanaan pekerjaan sipil dalam pembangunan *headrace tunnel* pada proyek PLTA Jatigede 2x55 MW Chainage PT0+907,609 – PT0+967,609. Fokus utama dalam penelitian ini mencakup pemilihan metode konstruksi pada *headrace tunnel*, seperti pekerjaan eskavasi, pekerjaan *steel support*, pemasangan *rockbolt*, pekerjaan pembesian, pekerjaan *concrete lining*, pekerjaan *backfill grouting* dan pekerjaan *consolidation grouting*. Hasil studi ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi pelaksanaan proyek sejenis di masa mendatang.

**Kata kunci:** headrace tunnel, pekerjaan sipil PLTA, konstruksi terowongan, stabilitas geologi, pengelolaan risiko

**How to Cite This Article:** Kermite, A. B., Suprihanto, A., & Widayat, W. (2025). Pelaksanaan Pekerjaan Sipil Pada Konstruksi Headrace Tunnel PLTA Jatigede 2x55 MW Chainage PT0+907,609 – PT0+967,609. *JPPII*, 3(1), 1-9. DOI: <https://doi.org/10.14710/jpii.2025.25707>

## PENDAHULUAN

Di hampir seluruh wilayah Indonesia, permintaan terhadap energi listrik telah meningkat sangat pesat sejak beberapa dekade terakhir. Pemerintah Indonesia telah dan tengah berupaya keras untuk memenuhi permintaan tersebut. Saat ini Pemerintah Indonesia mencanangkan program *Net Zero Emission* pada tahun 2060 dengan tujuan untuk mengurangi laju pemanasan global dan dampak buruknya, seperti bencana alam yang sering terjadi.

Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) merupakan bagian dari upaya Indonesia untuk meningkatkan kapasitas pembangkit energi terbarukan dan memperkuat infrastruktur nasional. Salah satu pembangkit listrik tenaga air yang sedang dibangun adalah PLTA Jatigede yang berlokasi di Kadujaya, Kecamatan Sumedang, Kabupaten Majalengka, Jawa Barat. PLTA Jatigede memiliki kapasitas terpasang sebesar 110 MW (megawatt). Dengan kapasitas ini, PLTA Jatigede dapat menghasilkan listrik yang cukup besar untuk memenuhi kebutuhan daya sekitar wilayah tersebut. PLTA Jatigede memanfaatkan air dari Waduk Jatigede, dimana Waduk Jatigede memiliki kapasitas tampung sebesar 980 juta kubik dengan kapasitas aktif sebesar 877 juta kubik. Untuk lokasi dari PLTA Jatigede ditunjukkan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi PLTA Jatigede

Salah satu komponen penting dalam infrastruktur PLTA adalah *headrace tunnel*, yang berfungsi untuk memastikan aliran air yang lancar dan terkendali sehingga turbin dapat berputar dengan efisien untuk menghasilkan energi listrik. Konstruksi *headrace tunnel* merupakan bagian yang sangat vital dalam proyek PLTA karena berhubungan langsung dengan keberhasilan operasional pembangkit tersebut. Pelaksanaan pekerjaan sipil dalam pembangunan *headrace tunnel* membutuhkan perhatian khusus terkait dengan faktor geoteknik, perencanaan struktur dan pengelolaan risiko selama fase konstruksi.

Beberapa penelitian sebelumnya telah membahas tantangan dalam konstruksi *headrace tunnel* pada PLTA. Menurut studi yang dilakukan oleh Putra et al. (2018), salah satu tantangan utama dalam pekerjaan sipil pada

konstruksi *headrace tunnel* adalah pengelolaan kondisi geologi yang kompleks, yang dapat memengaruhi stabilitas terowongan serta keselamatan kerja. Penelitian lainnya oleh Susanto dan Setiawan (2020) menekankan pentingnya penggunaan teknologi modern, seperti *tunnel boring machine* (TBM), untuk mempercepat proses pengeboran dan mengurangi potensi kerusakan struktural selama konstruksi. Selain itu, penelitian oleh Wibowo et al. (2021) menunjukkan bahwa perencanaan dan desain yang matang, serta pemantauan secara berkelanjutan, sangat penting untuk memastikan bahwa konstruksi *headrace tunnel* dapat dilaksanakan dengan efektif dan efisien.

Tujuan dari artikel ini adalah untuk memberikan gambaran mengenai proses pelaksanaan pekerjaan sipil pada konstruksi *headrace tunnel* PLTA Jatigede 2x55 MW Chainage PT0+907,609 – PT0+967,609 berdasarkan hasil *mapping geologi*.

## METODE PENELITIAN

### Waduk Jatigede

Waduk Jatigede di Kabupaten Sumedang menjadi salah satu danau buatan terbesar di Indonesia. Waduk seluas 4.983 hektar ini berfungsi sebagai tempat menampung cadangan air, pengendali banjir, irigasi, pembangkit listrik tenaga air, serta menjadi salah satu destinasi wisata favorit di Provinsi Jawa Barat.

Waduk ini mulai dibangun tahun 2008 dan baru diresmikan pada tahun 2015 serta beroperasi penuh pada 2017. Waduk ini dibangun dengan membendung aliran Sungai Cimanuk di wilayah Kecamatan Jatigede, Kabupaten Sumedang, Jawa Barat. Waduk Jatigede memiliki kapasitas tampung air sekitar 980 juta meter kubik, dengan luas genangan sekitar 4.000 hektar.

### Mapping Geologi

*Mapping geologi* adalah salah satu kegiatan penting dalam penelitian dan eksplorasi geologi untuk memahami kondisi batuan, struktur geologi, serta proses geologi yang terjadi di suatu wilayah. Proses ini dilakukan dengan tujuan untuk memperoleh informasi terkait karakteristik lapisan-lapisan geologi yang ada di permukaan bumi serta interaksi antara batuan, tanah dan unsur geologi lainnya. Pemetaan geologi biasanya dilakukan di lapangan, tetapi juga dapat melibatkan analisis laboratorium.

Berikut adalah beberapa langkah atau kegiatan yang dilakukan dalam pemetaan geologi:

#### 1. Persiapan dan Perencanaan

Sebelum terjun ke lapangan, penting untuk melakukan persiapan dan perencanaan yang matang, antara lain:

- a. Studi Literatur: Membaca literatur geologi sebelumnya yang mencakup area yang akan dipetakan, seperti laporan geologi,

- peta geologi yang sudah ada dan penelitian terkait.
- b. Pemilihan Area Pemetaan: Menentukan area yang akan dipetakan berdasarkan tujuan penelitian, misalnya untuk eksplorasi mineral, konstruksi, atau kajian geohazard.
  - c. Persiapan Peralatan: Menyiapkan peralatan lapangan, seperti kompas geologi, peta topografi, GPS, kamera, alat pengukur ketebalan, serta alat ukur lainnya seperti klinometer untuk mengukur kemiringan lapisan batuan.
2. Pencatatan Lokasi dan Observasi Lapangan
    - a. Observasi Lapangan: Mengamati dan mencatat jenis batuan, stratigrafi (lapisan-lapisan batuan), serta struktur geologi yang ada di lapangan, seperti patahan, lipatan, sesar dan cacat geologi lainnya.
    - b. Deskripsi Batuan: Mengidentifikasi batuan berdasarkan ciri-ciri fisik seperti warna, tekstur, komposisi mineral dan kekerasan. Pencatatan ini juga meliputi klasifikasi batuan apakah itu batuan beki, sedimen atau metamorf.
    - c. Mencatat Lokasi Fitur Geologi: Menggunakan GPS atau alat pengukur posisi untuk mencatat lokasi fitur geologi penting, seperti sesar, lipatan atau kontak antar lapisan batuan.
  3. Pengukuran Struktur Geologi
 

Mengukur orientasi lapisan batuan atau struktur geologi lainnya, seperti:

    - a. Kemiringan Lapisan (*Dip*): Menggunakan kompas geologi untuk mengukur sudut kemiringan lapisan batuan terhadap permukaan horizontal.
    - b. Arah Lapisan (*Strike*): Mengukur arah horizontal lapisan batuan yang membentuk bidang geologi yang terangkat atau terlipat.
    - c. Pengukuran Sesar atau Patahan: Jika ada sesar atau patahan, mengukur arah, sudut dan pergerakan relatif di sepanjang sesar tersebut.
    - d. Pengukuran Lipatan: Jika ada lipatan (*fold*), mengukur karakteristik seperti sumbu lipatan, amplitudo dan arah lipatan.
  4. Pengambilan Sampel Batuan
 

Mengambil sampel batuan dari berbagai lokasi yang dianggap penting untuk dianalisis lebih lanjut di laboratorium. Sampel ini dapat digunakan untuk analisis mineralogi, analisis petrografi, uji ketahanan mekanik batuan dan analisis struktur mikro batuan.
  5. Pembuatan Peta Geologi
    - a. Pembuatan Peta Lapangan: Berdasarkan hasil observasi dan pengukuran di lapangan, peta geologi kasar atau peta lapangan dibuat, yang menunjukkan lokasi dan distribusi batuan, struktur geologi dan fitur-fitur penting lainnya.
    - b. Pemetaan Stratigrafi: Menggambarkan urutan lapisan batuan berdasarkan usia dan proses pembentukannya (misalnya, formasi batuan yang lebih tua di bagian bawah dan yang lebih muda di atasnya).
    - c. Peta Struktur Geologi: Menampilkan orientasi lapisan, sesar dan lipatan serta hubungan antar struktur geologi.
  6. Analisis dan Interpretasi
 

Setelah data lapangan terkumpul, tahap selanjutnya adalah:

    - a. Analisis Data Geologi: Menganalisis data yang diperoleh di lapangan untuk memahami sejarah geologi area tersebut, proses pembentukan batuan, serta interaksi struktur geologi.
    - b. Interpretasi Kondisi Geologi: Berdasarkan data dan pengukuran yang telah dilakukan, maka dilakukan interpretasi mengenai sejarah geologi wilayah tersebut, potensi sumber daya alam (seperti mineral atau air tanah) dan risiko geohazard (misalnya, potensi gempa bumi, longsor atau banjir).
  7. Pelaporan dan Dokumentasi
    - a. Laporan Geologi: Menyusun laporan lengkap yang mencakup deskripsi lapangan, peta geologi, foto-foto lapangan, serta hasil analisis dan interpretasi geologi.
    - b. Penyusunan Peta Geologi Final: Peta geologi yang lebih rinci dan akurat akan disusun berdasarkan data lapangan, pengolahan data dan interpretasi dilakukan.
  8. Pemetaan Geologi Terpadu (jika diperlukan)
 

Pada beberapa proyek, pemetaan geologi dapat melibatkan penggabungan data lain seperti:

    - a. Pemetaan Geofisika: Menggunakan metode geofisika (seperti survei seismik, geolistrik atau magnetik) untuk mendalami kondisi bawah permukaan.
    - b. Pemetaan Geokimia: Melakukan analisis kimia terhadap sampel tanah atau batuan untuk mendeteksi potensi mineral atau kontaminan.
  9. Verifikasi dan Pembaruan Data
 

Jika diperlukan, proses pemetaan geologi dapat diulang untuk memverifikasi hasil didapat, terutama jika ada perubahan dalam kondisi

geologi atau untuk memperbaharui data yang telah ada.

### RMR ke RMT

Konversi dari nilai RMR (*Rock Mass Rating*) ke RMT (*Rock Mass Type*) merupakan bagian dari analisis stabilitas terowongan atau proyek konstruksi bawah tanah, dimana kedua parameter ini digunakan untuk mengevaluasi kualitas massa batuan dan menentukan teknik yang sesuai dalam desain dan konstruksi terowongan, tambang atau infrastruktur bawah tanah lainnya.

### Pengertian RMR dan RMT

1. RMR (*Rock Mass Rating*): RMR adalah sistem penilaian untuk mengevaluasi kualitas massa batuan (Bieniawski, 1973). Nilai RMR adalah hasil dari penilaian lima parameter utama: kuat tekan batuan, kualitas sambungan, jarak antar sambungan, orientasi sambungan dan kelembapan atau keberadaan air. Nilai RMR ini dihitung pada skala 0 hingga 100, dengan nilai yang lebih tinggi menunjukkan kualitas massa batuan yang lebih baik.
2. RMT (*Rock Mass Type*): RMT adalah sistem klasifikasi massa batuan yang dikembangkan dari hasil konversi nilai RMR. RMT lebih berfokus pada kategori massa batuan dan jenis perilaku yang dapat terjadi berdasarkan kualitas massa batuan. RMT digunakan untuk menentukan metode konstruksi dan strategi untuk penanganan massa batuan dalam proyek konstruksi bawah tanah.

### Langkah-Langkah Konversi dari RMR ke RMT

Untuk mengonversi nilai RMR menjadi RMT, kita perlu mengacu pada hubungan antara kategori kualitas massa batuan yang ada pada skala RMR dan tipe massa batuan yang ada pada skala RMT. Berikut adalah tahapan konversi yang umum digunakan:

1. Penentuan Nilai RMR
 

Langkah pertama adalah menentukan nilai RMR berdasarkan evaluasi kelima parameter yang disebutkan sebelumnya (kekuatan batuan, kualitas sambungan, jarak antar sambungan, orientasi sambungan dan kelembapan). Hasilnya adalah nilai RMR yang berkisar antara 0 hingga 100.
2. Klasifikasi Berdasarkan Nilai RMR
 

Nilai RMR yang diperoleh kemudian dikategorikan dalam rentang tertentu yang mengindikasikan kualitas massa batuan. Rentang RMR ini bisa dibagi menjadi beberapa kategori, misalnya:

  - RMR 81-100: Massa batuan sangat baik (baik untuk konstruksi tanpa penguatan atau penguatan tambahan).

- RMR 61-80: Massa batuan baik (mungkin memerlukan penguatan ringan untuk konstruksi bawah tanah).
- RMR 41-60: Massa batuan sedang (perlu penguatan atau penguatan yang signifikan untuk konstruksi).
- RMR 21-40: Massa batuan buruk (konstruksi bawah tanah memerlukan penguatan yang sangat kuat).
- RMR 0-20: Massa batuan sangat buruk (konstruksi bawah tanah tidak mungkin tanpa penguatan ekstrem).

### 3. Konversi ke RMT (*Rock Mass Type*)

Setelah nilai RMR diketahui dan dikategorikan, kita dapat mengonversinya ke dalam tipe massa batuan (RMT). RMT biasanya dikelompokkan menjadi beberapa kategori berdasarkan karakteristik dan perilaku massa batuan tersebut selama proses konstruksi. Berikut adalah contoh konversi umum dari RMR ke RMT yang ditunjukkan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Konversi RMR ke RMT

RMR Range	Rock Mass Type (RMT)
81 - 100	Type I (Good rock mass)
61 - 80	Type II (Fair rock mass)
41 - 60	Type III (Fair to poor rock mass)
21 - 40	Type IV (Poor rock mass)
0 - 20	Type V (Very poor rock mass)

Penjelasan tipe massa batuan (RMT):

- Tipe I: Massa batuan sangat baik, sering digunakan untuk konstruksi yang tidak memerlukan penguatan besar, atau dalam proyek yang membutuhkan stabilitas tinggi seperti terowongan kecil atau permukiman bawah tanah.
- Tipe II: massa batuan baik, tetapi bisa memerlukan penguatan atau penguatan ringan. Biasa digunakan dalam konstruksi terowongan atau sumur.
- Tipe III: Massa batuan sedang, membutuhkan penguatan struktural yang lebih besar untuk mengurangi risiko kegagalan atau pergeseran.
- Tipe IV: Massa batuan buruk, sangat rentan terhadap pergerakan dan pergeseran, memerlukan penguatan ekstensif seperti perisai atau sistem penyangga.
- Tipe V: Massa batuan sangat buruk, memerlukan metode penguatan dan desain

yang sangat spesifik untuk menangani kegagalan dan pergerakan massa batuan.

Contoh konversi RMR ke RMT:

Misalnya, jika nilai RMR = 30, maka kategori RMR tersebut jatuh ke dalam rentang 21-40, yang menunjukkan bahwa massa batuan tersebut termasuk dalam Tipe IV (*Poor rock mass*). Oleh karena itu, RMT untuk RMR 30 adalah Tipe IV.

4. Pemilihan Metode Konstruksi Berdasarkan RMT  
Setelah mengetahui RMT, desain dan metode konstruksi dapat dipilih berdasarkan tipe massa batuan tersebut. Semakin buruk kualitas massa batuan (misalnya Tipe IV atau V), semakin banyak perkuatan yang diperlukan, baik dalam bentuk penyangga, penopang atau teknologi stabilisasi lainnya.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Secara garis besar, urutan pelaksanaan pekerjaan sipil pada konstruksi *headrace tunnel* PLTA Jatigede 2x55 MW Chainage PT0+907,609 – PT0+967,609 seperti pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Bagan alir pelaksanaan pekerjaan sipil pada konstruksi *headrace tunnel* PLTA Jatigede 2x55 MW Chainage PT0+907,609 – PT0+967,609

**Hasil Mapping Geologi**

Berdasarkan hasil *mapping* geologi pada PT0+907,609 – PT0+967,609, didapatkan untuk kualifikasi dari nilai massa batuanya adalah RMT IV dan RMT V.

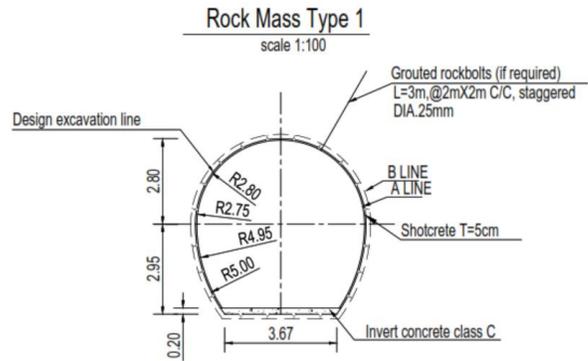
**RMT**

*Rock Mass Type* merujuk pada klasifikasi atau pengelompokan massa batuan berdasarkan sifat-sifat

mekanis, geologi dan karakteristik fisiknya. Setiap RMT memiliki desain yang berbeda untuk proses konstruksi.

**RMT I**

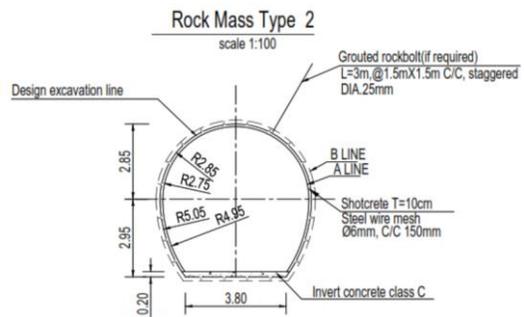
RMT I merupakan massa batuan yang sangat baik (RMR 81-100), biasanya terdiri dari batuan beku yang padat seperti granit atau basalt yang tidak banyak mengalami pelapukan. Pada tipe massa batuan ini, untuk proses eskavasi menggunakan metode *blasting* dan alat bantu *roadheader*, sedangkan untuk pekerjaan *support* hanya menggunakan *shotcrete* dengan ketebalan 5cm. Setelah pekerjaan *support* selesai, dilanjutkan pemasangan *rockbolt* menggunakan *rockbolt* dengan panjang 3m @ 1,5m x 1,5m (jika diperlukan). Skematik *Rock Mass Type 1* ditunjukkan pada Gambar 3.



**Gambar 3.** *Rock Mass Type 1*

**RMT II**

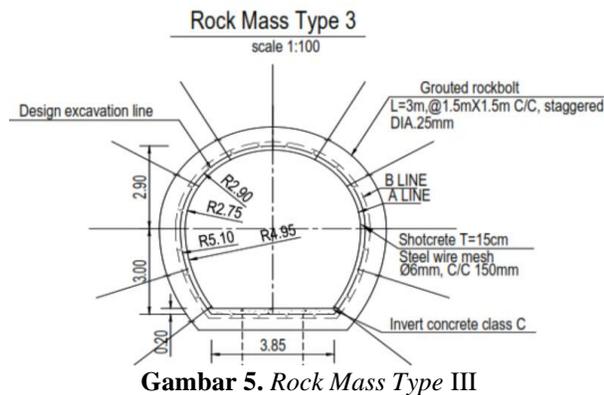
RMT II merupakan massa batuan memiliki kualitas yang baik (RMR 61-80), biasanya terdiri dari batuan seperti batu kapur yang terkonsolidasi atau batu pasir yang relatif kuat. Pada tipe massa batuan ini, untuk proses eskavasi menggunakan metode *blasting* dan alat bantu *roadheader*, sedangkan untuk pekerjaan *steel support* menggunakan *wiremesh* Ø6mm-150mm dan *shotcrete* dengan ketebalan 10cm. Setelah pekerjaan *support* selesai, dilanjutkan pemasangan *rockbolt* menggunakan *rockbolt* dengan panjang 3m @ 1,5m x 1,5m (jika diperlukan). Skematik *Rock Mass Type 2* ditunjukkan pada Gambar 4.



**Gambar 4.** *Rock Mass Type II*

### RMT III

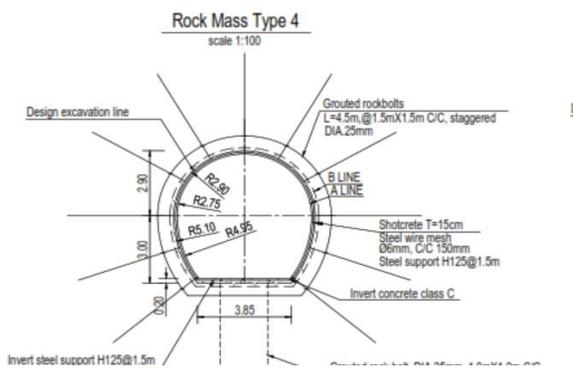
RMT III merupakan massa batuan sedang (RMR 41-60), batuan jenis ini lebih mudah terpengaruh oleh pelapukan dibandingkan RMT I dan RMT II. Pada tipe massa batuan ini, untuk proses eskavasi menggunakan metode *blasting* dan alat bantu *roadheader*, sedangkan untuk pekerjaan *steel support* menggunakan *wiremesh* Ø6mm-150mm dan *shotcrete* dengan ketebalan 15cm. Setelah pekerjaan *steel support* selesai, dilanjutkan pemasangan *rockbolt* menggunakan *rockbolt* dengan panjang 3m @1,5m x 1,5m. Skematik *Rock Mass Type 3* ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Rock Mass Type III

### RMT IV

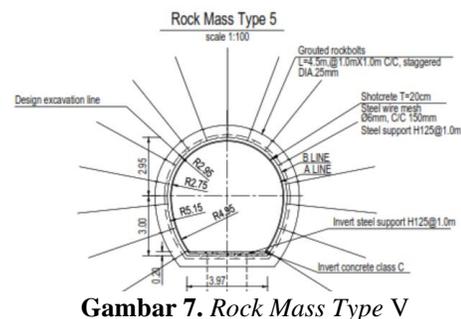
RMT IV merupakan massa batuan buruk (RMR 21-40), batuan ini lebih mudah lapuk dan kurang kokoh dibandingkan dengan tipe-tipe sebelumnya. Pada tipe massa batuan ini, untuk proses eskavasi menggunakan alat bantu *roadheader* atau *excavator*, sedangkan untuk pekerjaan *steel support* menggunakan *wiremesh* Ø6mm-150mm, kemudian dipasang H-125 dengan jarak 1,5m dan *steel connection* (D16). Setelah semuanya terpasang, maka akan di-*shotcrete* dengan ketebalan 15cm, kemudian setelah pekerjaan *steel support* selesai dilanjutkan pemasangan *rockbolt* menggunakan *rockbolt* dengan panjang 4,5m @1,5m x 1,5m. Skematik *Rock Mass Type 4* ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Rock Mass Type IV

### RMT V

RMT V merupakan massa batuan sangat buruk (RMR 0-20), biasanya terdiri dari bahan yang telah sangat terfragmentasi dan terdekomposisi. Pada tipe massa batuan ini, untuk proses eskavasi menggunakan alat bantu *roadheader* atau *excavator*, sedangkan untuk pekerjaan *steel support* menggunakan *wiremesh* Ø6mm-150mm, kemudian dipasang H-125 dengan jarak 1m dan *steel connection* (D16). Setelah semuanya terpasang, maka akan di-*shotcrete* dengan ketebalan 20cm, kemudian setelah pekerjaan *steel support* selesai dilanjutkan pemasangan *rockbolt* menggunakan *rockbolt* dengan panjang 4,5m @1,5m x 1,5m. Skematik *Rock Mass Type 5* ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Rock Mass Type V

### Tahap Pekerjaan Sipil pada Headrace Tunnel

#### a. Pekerjaan Eskavasi/Penggalian

Pekerjaan eskavasi/penggalian pada *headrace tunnel* (HT) dalam pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) merupakan salah satu tahap konstruksi yang krusial. *Headrace tunnel* berfungsi untuk mengalirkan air dari reservoir atau waduk menuju *penstock* atau turbin. Oleh karena itu, proses penggalian atau eskavasi terowongan harus dilakukan dengan sangat hati-hati dan sesuai dengan standar teknik yang ketat, mengingat tantangan geoteknik dan keselamatan kerja yang tinggi. Berdasarkan hasil *mapping* massa batuan, untuk PT0+907,609 – PT0+969,609 masuk tipe RMT IV dan RMT V. Untuk RMT IV dan RMT V pada proses eskavasi menggunakan metode mekanis (*roadheader*) untuk menggali tanah atau batuan yang lebih lunak. Selama pekerjaan eskavasi, penting untuk mengelola air yang mungkin masuk ke dalam terowongan. Pengawasan yang ketat diperlukan selama pekerjaan untuk memastikan keselamatan pekerja, kontrol kualitas material dan penerapan prosedur keselamatan. Inspeksi rutin juga dilakukan untuk memastikan dinding terowongan tetap stabil dan tidak ada kebocoran atau kerusakan.

b. Pekerjaan *Steel Support*

Pekerjaan *steel support* pada *headrace tunnel* adalah proses pemasangan struktur baja (*steel*) sebagai penopang atau penguat dinding terowongan pada proyek Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), khususnya pada bagian *headrace tunnel*. Pekerjaan *steel support* bertujuan untuk memastikan kestabilan terowongan, menghindari longsor atau keruntuhan dinding, serta melindungi keselamatan pekerja selama proses konstruksi dan operasi jangka panjang. Untuk RMT IV pada pekerjaan *steel support* dimana pertama dilakukan pemasangan *wiremesh* dengan diameter 6mm, kemudian setelah itu dipasang H-125 dengan jarak 1,5m. Setelah H-125 dipasang, kemudian dilanjutkan dengan pemasangan *steel connection* (D16) dan dilanjutkan dengan proses *shotcrete* dengan ketebalan 15cm. Untuk RMT V, pertama dilakukan pemasangan *wiremesh* dengan diameter 6mm dan dilanjutkan dengan pemasangan H-125 dengan jarak 1,0m. Setelah H-125 dipasang, kemudian dilanjutkan dengan pemasangan *steel connection* (D16) dan dilanjutkan dengan proses *shotcrete* dengan ketebalan 20cm.

c. Pemasangan *Rockbolt*

Pemasangan *rockbolt* pada *headrace tunnel* di PLTA adalah salah satu metode penting dalam meningkatkan stabilitas dan kekuatan struktur terowongan yang dibangun melalui batuan. *Rockbolt* adalah jenis penopang yang digunakan untuk memperkuat dinding terowongan dengan cara menambatkan atau mengikat batuan yang ada di sekitarnya. Pada RMT IV dan RMT V menggunakan *rockbolt* dengan panjang 4,5m @1m x1m (D25). Proses pemasangan *rockbolt* pada *headrace tunnel* diawali dengan pengeboran lubang sesuai kedalaman dan diameter dari *rockbolt* yang digunakan. Setelah lubang pengeboran selesai, *rockbolt* dimasukkan ke dalam lubang tersebut.

d. Pekerjaan Pembesian

Pekerjaan pembesian pada *headrace tunnel* di PLTA adalah salah satu tahap penting dalam konstruksi terowongan yang berfungsi untuk memberikan kekuatan struktur, mengurangi retak dan deformasi, serta meningkatkan ketahanan terhadap gaya geser dan tarik. Pada pekerjaan pembesian menggunakan rebar dengan diameter 25 dan diameter 16.

e. Pekerjaan *Concrete Lining*

Pekerjaan *concrete lining* adalah proses pembuatan permukaan *tunnel* menggunakan *concrete* dengan ketebalan 50cm, diameter 4,5m dan menggunakan beton K-300.

f. Pekerjaan *Backfill Grouting*

Pekerjaan *backfill grouting* adalah pengisian atau pemadatan rongga atau celah yang terdapat pada dinding atau bagian bawah terowongan menggunakan bahan pengisi (*grout*), biasanya berupa campuran semen dan air atau bahan kimia lainnya. Tujuan utama dari pekerjaan ini adalah untuk meningkatkan stabilitas terowongan, mengurangi kebocoran air dan mengisi ruang kosong antara lapisan beton *lining* dan batuan asli (*rock mass*) di sekitar terowongan.

Proses *backfill grouting* pada *headrace tunnel* terdiri dari:

1. Persiapan Lokasi: Sebelum melakukan *grouting*, dilakukan pemetaan dan pengecekan kondisi terowongan untuk memastikan adanya rongga, celah atau retakan yang perlu diisi. Pekerjaan persiapan ini termasuk pengecekan kelembapan, struktur terowongan dan kesiapan sistem.
2. Pengeboran Lubang Injeksi (*injection holes*): Untuk memasukan *grout*, dilakukan pengeboran lubang injeksi di sepanjang dinding terowongan atau di titik-titik tertentu yang membutuhkan pengisian. Untuk kedalaman lubang *backfill grouting* sedalam 60cm.
3. Pencampuran *Grout*: *Grout* biasanya terdiri dari campuran semen, air dan bahan adiktif (seperti bahan pegental atau bahan pengikat kimia) untuk meningkatkan daya ikat dan kemampuan *grout* dalam menyerap air atau mengisi rongga.
4. Injeksi *Grout*: Setelah lubang injeksi dibuat dan *grout* siap, proses injeksi dimulai. *Grout* dipompa ke dalam lubang injeksi menggunakan mesin *grouting* yang mampu memompa bahan dengan tekanan tertentu agar *grout* dapat mengalir ke dalam rongga dan celah yang ada di sekitar terowongan. Proses ini berlangsung secara bertahap, dimulai dari bagian bawah atau titik yang lebih rendah menuju bagian yang lebih tinggi untuk menghindari gelembung udara.
5. Pengendalian Tekanan dan Pemantauan: Selama proses injeksi, tekanan *grouting* perlu dikendalikan dengan hati-hati untuk memastikan bahwa *grout* dapat mengisi rongga tanpa merusak struktur terowongan. Selama injeksi, pemantauan dilakukan untuk memastikan bahwa *grout* tersebar merata dan tidak ada kebocoran atau penyumbatan pada sistem injeksi.

g. Pekerjaan *Consolidation Grouting*

Pekerjaan *consolidation grouting* adalah teknik *grouting* yang digunakan untuk meningkatkan kekompakan (konsolidasi) dan kekuatan tanah atau batuan di sekitar terowongan dengan cara menginjeksi bahan pengisi (*grout*) ke dalam rongga atau pori-pori di tanah atau batuan tersebut. Teknik ini sangat penting untuk menstabilkan area di sekitar terowongan, mengurangi deformasi atau pergeseran tanah dan meningkatkan daya dukung struktur terowongan yang sering terpapar tekanan tanah dan air.

Proses *consolidation grouting* pada *headrace tunnel* terdiri dari:

1. Pemetaan dan Identifikasi Titik Injeksi: Sebelum melakukan *grouting*, dilakukan survei dan pemetaan kondisi geoteknik di sekitar terowongan untuk menentukan lokasi yang perlu diperbaiki dan celah-celah yang perlu diisi.
2. Pengeboran Lubang Injeksi: Lubang injeksi dibor pada titik-titik yang telah ditentukan dengan kedalaman 3,5 meter. Lubang ini biasanya terletak pada sisi terowongan, baik di dinding atau di bagian bawah, tergantung pada area yang memerlukan pengisian. Lubang-lubang ini dibuat dengan jarak yang cukup rapat untuk memastikan *grout* dapat mengisi seluruh rongga atau retakan di sekitar terowongan.
3. Pencampuran *Grout*: Setelah lubang injeksi dipersiapkan dan *grout* siap, proses injeksi dimulai. *Grout* dipompa ke dalam rongga atau pori-pori tanah atau batuan dengan menggunakan mesin injeksi. Pada tahap ini, *grout* dipaksa untuk mengisi ruang kosong atau celah yang ada di dalam tanah atau batuan di sekitar terowongan. Proses injeksi dilakukan secara bertahap dan pengaturan tekanan sangat penting untuk memastikan *grout* dapat tersebar merata tanpa merusak struktur terowongan.
4. Pengendalian Tekanan *Grouting*: Tekanan *grouting* harus dikendalikan dengan hati-hati untuk mencegah *grout* meluber keluar dari area yang tidak diinginkan atau merusak struktur terowongan. Pengaturan tekanan ini juga penting untuk memastikan *grout* dapat menembus rongga dan menyebar dengan baik ke seluruh area yang diinginkan.

**KESIMPULAN**

Hasil dari penelitian tugas akhir ini pada proyek PLTA Jatigede 2x55 MW Chainage PT0+907,609 – PT0+967,609 dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil *mapping* geologi, untuk Chainage PT0+907,609 – PT0+967,609 masuk ke dalam RMT IV dan RMT V.
2. Pekerjaan sipil yang dilaksanakan pada *headrace tunnel* PLTA Jatigede 2x55 MW Chainage PT0+907,609 – PT0+967,609 terdiri dari pekerjaan eskavasi/penggalian, pekerjaan *steel support* (*wiremesh*, H-125, *steel connection*, *shotcrete*), pemasangan *rockbolt*, pekerjaan pembesian, pekerjaan *concrete lining*, pekerjaan *backfill grouting* dan *consolidation grouting*.

**UCAPAN TERIMA KASIH**

Terima kasih disampaikan kepada PT PLN Enjiniring atas kesempatan dan dukungannya dalam pelaksanaan Program Profesi Insinyur di Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Agustino, R. (2021). Analisis Konstruksi Terowongan Headrace dalam Pembangunan PLTA. *Jurnal Teknik Sipil*, 3492, 123-134.
- Bergmann, E. W., & Wahl, A. L. (2011). Innovative Approaches in Headrace Tunnel Construction for Hydropower Projects. *International Journal of Underground Infrastructure*, 15(3), 29-40.
- Bieniawski, Z. T. (1989). *Engineering Rock Mass Classifications*.
- Chatterjee, R., & Sengupta, A. (2017). Design and Construction of Headrace Tunnel for Hydroelectric Power Projects: A Case Study. *Journal of Civil Engineering and Construction Technology*, 8(6), 102-115.
- Duncan, C. M., & Zhang, L. (2015). *Construction Techniques for Hydropower Projects*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Hadi, A. & Widodo, S. (2019). Kajian Metode Pelaksanaan Terowongan Headrace pada Proyek PLTA X. *Jurnal Rekayasa Infrastruktur*, 27(1), 45-58.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia. (2013). *Panduan Teknis Pekerjaan Konstruksi Terowongan*. Jakarta: Kementerian PUPR.
- Koh, S. H., & Lam, M. H. (2014). *Tunneling in Urban and Hilly Terrain: Challenges in hydropower Projects*. Singapore: Springer.
- Kreis, D. A., & McNamara, M. J. (2010). *Hydroelectric Power Plant Design and Construction*. New York: Wiley.
- Kusumawati, D., & Santoso, B. (2020). Pengaruh Kualitas Material dan Teknik Penggalian

- Terhadap Keberhasilan Proyek Konstruksi Terowongan Headrace. *Jurnal Konstruksi dan Manajemen*, 18(4), 321-330.
- Patawaran, D. & Sugianto, M. (2020). Pengelolaan Risiko dalam Konstruksi Terowongan pada Proyek PLTA: Studi Kasus di Indonesia. *Jurnal Teknik Sipil Indonesia*, 28(2), 203-210.
- Ramsay, R. W., & Davis, J. R. (2012). *Tunneling and Underground Construction: Design and Practice in Hydropower Project*. London: CRC Press.
- Sutanto, M., & Fattah, M. I. (2019). *Teknik Konstruksi Terowongan dan Aplikasinya pada Proyek PLTA*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Sutrisno, I., & Wijaya, M. (2018). Metode Penyelesaian Konstruksi Terowongan Headrace dengan Sistem Pemboran dan Peledakan. *Jurnal Teknik Geologi dan Konstruksi*, 12(3), 205-215.
- The World Bank. (2015). *Hydropower Development: Best Practices in Construction and Engineering*. Washington D.C.: The World Bank.
- Yuliana, R., & Prasetyo, S. (2022). Tantangan dan Solusi dalam Konstruksi Headrace Tunnel pada PLTA Z di Indonesia. *Jurnal Teknik dan Perencanaan Konstruksi*, 41(1), 75-89.