

Evaluasi Pelaksanaan Penanganan Runtuhan (*Collapse Treatment*) di *Horizontal Penstock Tunnel Section PS 0+250–PS 0+223 PLTA Jatigede 2×55 MW*

Robbi Trikusumah Rachman^{1*}, Aries Susanty^{1,2}

¹Program Studi Program Profesi Insinyur Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,

²Departemen Teknik Industri Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,
Jl. Prof. Soedarto, SH, Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

*Corresponding author: robbitrikusumah@gmail.com

(Received: March 11, 2026; Accepted: April 22, 2026)

Abstract

Evaluation of Collapse Treatment Implementation in Horizontal Penstock Tunnel Section PS 0+250–PS 0+223 Jatigede 2×55 MW Hydroelectric Power Plant. The Jatigede 2×55 MW Hydroelectric Power Plant (PLTA) project is one of the strategic projects listed in the RUPTL (Regional Power Plant Development Plan). This project was initially targeted for Commercial Operation Date (COD) in 2019. However, due to various obstacles, its completion could only be completed in 2024. One of the obstacles in the completion of this project was the collapse in the Horizontal Penstock Tunnel Section PS 0+250–PS 0+223 area. This study aims to provide an overview of information regarding the evaluation of the implementation of collapse treatment in the Horizontal Penstock Tunnel Section PS 0+250–PS 0+223 of the Jatigede 2×55 MW Hydroelectric Power Plant. The Horizontal Penstock Tunnel is an important part of the construction. The Horizontal Penstock Tunnel is a pressure pipe to flow water from the headrace tunnel to the turbine. Collapse treatment in the Horizontal Penstock Tunnel Section PS 0+250–PS 0+223 area consists of setting out, backfilling, steel support, grouting, canopy forepoling, and monitoring. The collapse treatment was carried out in accordance with the design requirements. The grouting and canopy forepoling methods were also very effective for the rock conditions at the Jatigede 2×55 MW Hydroelectric Power Plant.

Keywords: tunnels, rubble handling, grouting, canopy forepoling, K3

Abstrak

Proyek PLTA Jatigede 2×55 MW merupakan salah satu proyek strategis yang tercantum dalam RUPTL. Proyek ini awalnya ditargetkan *Commercial Operation Date* (COD) pada tahun 2019. Namun karena berbagai kendala, penyelesaiannya baru dapat diselesaikan pada tahun 2024. Salah satu kendala dalam penyelesaian proyek ini yakni adanya runtuhan di area *Horizontal Penstock Tunnel Section PS 0+250–PS 0+223*. Penelitian ini bertujuan memberikan gambaran informasi mengenai evaluasi pelaksanaan penanganan runtuhan (*collapse treatment*) di *Horizontal Penstock Tunnel Section PS 0+250–PS 0+223 PLTA Jatigede 2×55 MW*. *Horizontal Penstock Tunnel* merupakan salah satu bagian penting dalam pembangunan. *Horizontal Penstock Tunnel* merupakan pipa tekanan untuk mengalirkan air dari *headrace tunnel* menuju turbin. Penanganan runtuhan (*collapse treatment*) di area *Horizontal Penstock Tunnel Section PS 0+250–PS 0+223* terdiri dari pekerjaan *setting out*, pekerjaan *backfilling*, pekerjaan *steel support*, pekerjaan *grouting*, pekerjaan *canopy forepoling* serta pekerjaan *monitoring*. Penanganan runtuhan tersebut telah dilakukan sesuai dengan ketentuan desain. Metode *grouting* dan *canopy forepoling* juga sangat efektif digunakan dengan kondisi bebatuan yang ada di PLTA Jatigede 2×55 MW.

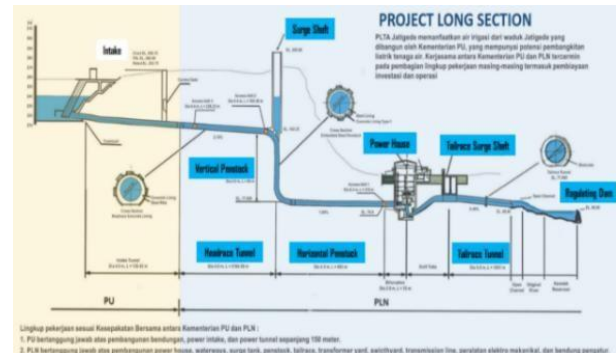
Kata kunci: terowongan, penanganan runtuh, grouting, canopy forepoling, K3

How to Cite This Article: Rachman, R. T., & Susanty, A. (2026). Evaluasi Pelaksanaan Penanganan Runtuhan (Collapse Treatment) di Horizontal Penstock Tunnel Section PS 0+250–PS 0+223 PLTA Jatigede 2×55 MW. *JPII*, 4(2), 159-168. DOI: <https://doi.org/10.14710/jpii.2026.32317>

PENDAHULUAN

Pembangunan PLTA Jatigede 2×55 MW merupakan salah satu proyek strategis yang tercantum dalam daftar Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) 2015–2024 PT. PLN (Persero). Proyek PLTA Jatigede 2×55 MW terletak di Kabupaten Sumedang, Kecamatan Jatigede (Desa Kadujaya, Desa Cijeungjing dan Desa Karedok) dan Kecamatan Tomo (Desa Cipeles). PLTA Jatigede mempunyai kapasitas 110 MW dengan dua unit yang masing-masing berkapasitas 55 MW dan memiliki potensi target produksi listrik tahunan sebesar 462,6 GWH (*peak hour*: 157,4 GWH dan *off peak hour*: 305,2 GWH). Proyek pembangunan PLTA Jatigede 2×55 MW didesain dapat menghasilkan energi listrik dengan memanfaatkan energi air yang berasal dari Waduk Jatigede. Hal ini menjadi wujud komitmen PLN dalam pengembangan energi hijau di tanah air, dengan memanfaatkan sumber energi terbarukan, khususnya air, serta akan mengoptimalkan semua potensi energi hijau yang ada demi mencapai *Net Zero Emissions* pada tahun 2060 untuk memastikan kehidupan yang lebih baik bagi generasi mendatang. Proyek ini diharapkan dapat menyuplai pasokan listrik di Pulau Jawa.

Pelaksanaan pembangunan Proyek PLTA Jatigede 2×55 MW terdiri dari beberapa tahap yakni terdiri dari pelaksanaan pekerjaan *headrace tunnel*, *upper surge shaft*, *penstock tunnel* (*vertical* dan *horizontal*), *powerhouse*, *tailrace surge shaft*, *tailrace tunnel* dan *regulating dam*. Salah satu bagian penting dalam pembangunan proyek ini adalah pekerjaan *Horizontal Penstock Tunnel*. *Horizontal Penstock Tunnel* merupakan pipa tekanan untuk mengalirkan air dari *headrace tunnel* menuju turbin. *Horizontal Penstock Tunnel* merupakan bagian kritis dari sistem pembangkit listrik tenaga air karena menentukan aliran air menuju turbin dan berpengaruh pada efisiensi dan kinerja pembangkit listrik. Air yang mengalir melalui *Horizontal Penstock Tunnel* memiliki tekanan yang sangat tinggi dan arah alirannya bisa vertikal atau miring tergantung pada desain pembangkit listrik. *Horizontal Penstock Tunnel* harus dibangun dengan material yang kuat untuk menangani tekanan air yang tinggi. *Tunnel* PLTA Jatigede dapat dilihat dari Gambar 1.



Gambar 1. Potongan memanjang proyek PLTA Jatigede 2×55 MW

Proyek PLTA Jatigede awalnya ditargetkan selesai pada tahun 2019. Akan tetapi karena berbagai kendala, penyelesaiannya baru dapat terselesaikan dengan *Commercial Operation Date* (COD) di tahun 2024. Salah satu kendala penyebab keterlambatan COD proyek ini adalah terjadinya longsor (*collapse*) di *Horizontal Penstock Tunnel*, salah satunya di section PS 0+250–PS 0+223. Penanganan runtuh atau longsor tanah (*collapse treatment*) di dalam terowongan merupakan pekerjaan yang memerlukan perhatian khusus terkait teknik darurat penanganan runtuh yang sesuai kondisi di lapangan serta keselamatan dan keamanan kerja.

Beberapa penelitian sebelumnya telah membahas mengenai penanganan runtuh. Penelitian Choudhary et al. (2025) penggunaan metode *Tube-A-Man-chette* (TAM) berhasil menghentikan longsor di Proyek Teesta, India. Penelitian Schlotfeldt et al. (2025) menjelaskan investigasi dan temuan dari *Root Cause Analysis* (RCA) dari proyek terowongan PLTA memaparkan pengulangan siklus degradasi zona batuan menyebabkan penyebaran runtuh area *top heading tunnel* dan dinding samping terowongan di dalam dan di sekitar zona kerusakan sesar. Selain itu, Nepal (2024) juga telah memaparkan tantangan penggunaan teknik *grouting* dan *forepoling* pada penggalian terowongan di PLTA Jatigede.

Tujuan dari penulisan artikel ini adalah untuk memberikan gambaran informasi mengenai evaluasi pelaksanaan penanganan runtuh (*collapse treatment*) di *Horizontal Penstock Tunnel* Section PS 0+250–PS 0+223 PLTA Jatigede 2×55 MW.

METODE PENELITIAN

Tempat Pelaksanaan

Proyek pembangunan PLTA Jatigede 2×55 MW terletak di Kabupaten Sumedang, Kecamatan Jatigede (Desa Kadujaya, Desa Cijeungjing dan Desa Karedok) dan Kecamatan Tomo (Desa Cipeles). Proyek pembangunan PLTA Jatigede 2×55 MW didesain untuk dapat menghasilkan energi listrik dengan memanfaatkan energi air yang berasal dari Waduk Jatigede.



Gambar 2. Lokasi pembangunan PLTA Jatigede 2×55 MW

Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam artikel ini adalah deskriptif evaluatif dengan fokus pada analisis pelaksanaan *collapse treatment* di *horizontal penstock tunnel section* PS 0+250–PS 0+223. Pendekatan deskriptif digunakan untuk menggambarkan proses pelaksanaan pekerjaan, sedangkan pendekatan evaluatif digunakan untuk menilai efektivitas metode *collapse treatment* yang diterapkan, yaitu *grouting* dan *canopy forepoling*. Pengertian *grouting* menurut Nonveiller (1989) merupakan proses untuk mengisi celah, rongga, retakan atau ruang kosong pada tanah di antara dinding terowongan dan formasi batuan dengan menggunakan material campuran bahan *grout*. Bahan *grout* tersebut terdiri dari campuran semen, air dan bahan tambahan seperti pasir, aditif atau bahan kimia untuk meningkatkan sifat mekanis atau aliran material *grouting*. *Grouting* dilakukan untuk memperkuat dan memperbaiki stabilitas dinding terowongan, mencegah kebocoran air dan meningkatkan kemampuan struktur terowongan.

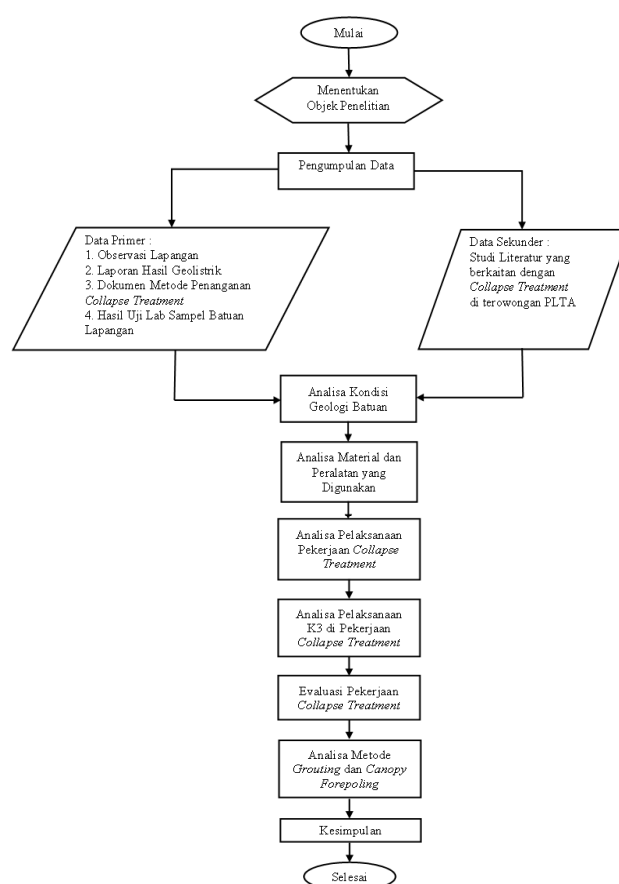
Canopy forepoling adalah teknik perkuatan terowongan yang digunakan untuk memperkuat dinding terowongan yang lemah atau rapuh saat terowongan dibangun. Teknik ini dilakukan dengan memasang rangka baja atau beton disebut “*canopy*” di atas dinding terowongan yang telah dibuat. *Canopy forepoling* digunakan pada terowongan dengan formasi batuan yang lemah atau berlapisan tanah yang mudah terjadi longsor. Teknik ini memungkinkan untuk menghindari keruntuhan terowongan dan memperkuat dinding terowongan agar tahan terhadap tekanan tanah sekitarnya.

Pekerjaan *grouting* dan *canopy forepoling* di *horizontal penstock tunnel section* PS 0+250–PS 0+223 dilakukan dengan lebih dari bulan Oktober 2019 sampai dengan akhir tahun 2022. Selama proses tersebut penanganan dilakukan dengan menggunakan beberapa

alat dan metode. Pada awal pelaksanaan penanganan masih menggunakan alat konvensional kemudian terus disempurnakan dengan menggunakan bantuan alat TMZ1250 yang khusus diimpor langsung dari Cina karena spesifikasi dan dimensi alat tidak tersedia di Indonesia. Begitu pula dengan material yang digunakan terus disempurnakan sehingga penanganan runtuh dapat berjalan sesuai dengan desain pembangunan PLTA secara efektif.

Diagram Alir Proses Analisis

Di bawah ini merupakan gambar diagram alir analisis yang digunakan untuk memperjelas tahapan metode penelitian.



Gambar 3. Diagram alir penelitian

Tahap pertama yang dilakukan adalah dengan mengumpulkan data primer dan sekunder yang mendukung penelitian. Data primer dilakukan dengan observasi langsung dengan pihak pelaksana proyek pembangunan PLTA Jatigede 2×55 MW di Kabupaten Sumedang, sedangkan data sekunder dilakukan pengumpulan data dokumen PLTA Jatigede 2×55 MW dan studi literatur yang berkaitan dengan penelitian sehingga memberikan gambaran yang komprehensif mengenai efektivitas metode tersebut dalam kondisi lapangan. Analisis data yang dilakukan berupa analisis

kondisi geologi batuan, analisis peralatan dan material yang digunakan untuk penanganan runtuh, analisis proses pelaksanaan penanganan runtuh serta proses peninjauan ulang penerapan proses pelaksanaan tersebut sehingga terbentuk suatu kesimpulan metode penerapan yang sesuai untuk *collapse treatment* di *horizontal penstock tunnel section* PS 0+250–PS 0+223.

Persyaratan Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) dalam Pelaksanaan

Beberapa persyaratan umum K3 yang harus dipenuhi antara lain:

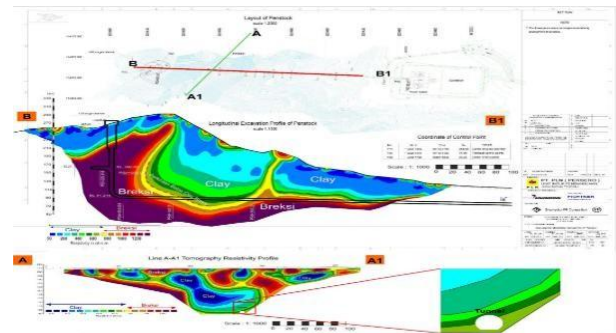
1. Pemberitahuan keamanan keselamatan harus dijelaskan dan diperkenalkan kepada setiap orang yang terlibat di proyek sebelum pekerjaan konstruksi dimulai melalui induksi K3.
2. Pada saat *tool box meeting*, harus dijelaskan urutan kerja, potensi-potensi yang dapat menimbulkan kecelakaan kerja baik peralatan, material maupun metode kerja. Hal ini dituangkan secara detail dalam dokumen *Job Safety Analysis* (JSA).
3. Setiap orang yang terlibat di proyek pekerjaan harus memakai Alat Pelindung Diri (APD) selama di area proyek. Setiap lokasi yang sesuai di dalam area proyek harus diberi rambu-rambu keamanan dan keselamatan kerja.
4. Pengecekan dan pemeriksaan peralatan yang sedang dipakai dan yang akan dipakai harus dilakukan oleh petugas mekanik bersama *safety* secara berkala.
5. Hal-hal khusus yang memerlukan perhatian:
 - a. Penempatan material.
 - b. Pemeriksaan akses transportasi.
 - c. *Sling* yang digunakan harus dalam kondisi baik, panjang yang direncanakan dan sesuai dengan beban yang diangkat.
6. Peralatan APD untuk para pekerja yang harus digunakan adalah:
 - a. Helm/pelindung kepala.
 - b. *Safety shoes*.
 - c. Masker.
 - d. *Safety vest* atau seragam kerja yang dilengkapi dengan illuminator.
 - e. *Safety glasses*/kaca mata.
 - f. *Ear plug*/pelindung telinga.
 - g. *Safety gloves*/sarung tangan.
 - h. Lampu kepala.
 - i. *Selfresquer*.
 - j. *Safety body harness*.
7. Setiap operator memiliki Surat Izin Operator (SIO) sesuai dengan ketentuan unit alat yang dioperasikan.
8. Setiap alat berat memiliki Surat Izin Alat (SIA) yang akan dioperasikan di lapangan.
9. Disediakan *handrail* untuk untuk mencegah

pekerja jatuh dari atas *tunnel*, *handrail* dipasang sedemikian agar tidak mengganggu aktivitas pekerjaan *collapse treatment* di *horizontal penstock tunnel section* PS 0+250–PS 0+223.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Geologi

Mapping geologi merupakan salah satu kegiatan penting yang bertujuan untuk memahami kondisi batuan, struktur serta proses geologi guna memperoleh informasi terkait karakteristik lapisan-lapisan geologi yang ada di permukaan bumi serta interaksi antara batuan, tanah dan unsur geologi lainnya (Kermite et al., 2024). *Horizontal Penstock section* PS 0+250–PS 0+223 terdapat batuan transisi antara breksi dan *clay* yang akan sangat berpotensi untuk terjadinya aliran air maupun lapisan *clay*-nya menjadi lemah karena sifat *swelling* dari *clay*. Pergerakan air pada area ini dikontrol oleh keberadaan lapisan vulkanik breksi yang sangat *porous* dan memiliki permeabilitas tinggi. Pada struktur breksi yang berarah vertikal mempunyai kandungan air tanah yang cukup tinggi, fenomena ini diperkuat dengan keberadaan beberapa mata air pada struktur breksi yang tersingkap. Oleh karena itu, didasar batuan breksi bawah permukaan diperkirakan mempunyai tekanan pori yang cukup kuat dikarenakan besarnya beda ketinggian.



Gambar 4. Kondisi bebatuan di *horizontal penstock section* PS 0+250–PS 0+223

Berdasarkan gambar di atas menunjukkan bahwa lokasi *horizontal penstock section* PS 0+250–PS 0+223 terdapat jenis batuan yang masuk kedalam kriteria RMT V (jenis batuan yang sangat buruk) RMR <20 menurut klasifikasi Bieniawski (1989) sesuai dengan kontrak yang ada di PLTA Jatigede berdasarkan *item rock mass type of excavation*.



Gambar 5. Pengecekan bersama kondisi batuan di horizontal penstock tunnel face

Material dan Peralatan yang Digunakan

Penggunaan material untuk penanganan runtuh tersebut terus mengalami penyempurnaan seiring dengan terus dilakukan evaluasi untuk mendapatkan hasil terbaik. Material yang paling sesuai yang digunakan dalam penanganan runtuh yakni material *High Performance Concrete (HPC) special cement admixture for grouting*. Komposisi material yang dipakai yaitu HPC + semen biasa + pasir + air. Proporsi campuran yang digunakan untuk *grouting* dijelaskan dalam Tabel 2. Di lokasi, konsistensi campuran *grouting* dan persentase *bleeding* dipantau untuk menjaga kualitasnya.

Tabel 1. *Performance of cement grout*

Initial setting time	Final setting time	Slurry concretion rate	Bleeding rate	Pressure filtration coefficient	Compressive strenght (2h)
≤40 min	≤57 min	95%	6%	60%	≥1.3 MPa

Tabel 2. Proporsi rasio campuran *cement grouting*

No.	Grout type	Water cement ratio (W/C)	Admixture ratio by cement weight	Initial setting time in minutes	Final setting time in minutes	Bleeding percent	Remark
1	Cement and water + HPC	0.8:1	10%-15%	67	297	1.61	Normal
2	Cement:water and water glass	1:1 and 0.8:1	10%-15%	18	105	<5	Grout communication and water seepage
3	Cement:water	1:1, 0.8:1	-	343	490	<19-33	Normal

HPC digunakan dalam pembangunan terowongan untuk menghasilkan struktur yang tahan air dan tahan tekanan tanah. HPC memiliki kekuatan tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan beton konvensional, sehingga mampu menahan beban yang lebih besar. HPC memiliki daya lentur yang lebih tinggi, membuatnya lebih mampu menahan gaya lentur dan getaran yang timbul akibat beban.

Sejalan dengan penggunaan material, alat yang digunakan untuk membantu penyelesaian penanganan runtuh pun disempurnakan sesuai dengan kebutuhan konstruksi. Pada tahap awal pekerjaan *grouting* dilakukan dengan bantuan alat konvensional, kemudian peralatan konstruksi utama yakni mesin TMZ1250 *crawler drill*. Peralatan ini kemudian menjadi peralatan konstruksi

utama yang sesuai dengan efektivitas penanganan runtuh di *section*. Kegunaan alat ini terutama untuk membuat lubang untuk *grout* ke retakan batuan untuk memperkuat massa batuan dan mencegah rembesan air dan membuat lubang miring di depan muka galian (*tunnel face*) untuk pemasangan pipa baja kecil (*forepole*) sebagai penahan awal (*pre-support*) agar tidak runtuh. Mesin ini memiliki kelebihan dapat mengebor ke berbagai arah baik vertikal, horizontal maupun miring, produktivitasnya lebih tinggi dibanding metode manual, aman digunakan di area terbatas seperti *tunnel*. Berikut merupakan beberapa peralatan konstruksi utama yang digunakan:

Tabel 3. Peralatan konstruksi utama yang digunakan

No	Name	Model	Parameters	Qty	Remarks
1	Multifunctional crawler drill	TMZ-1250	Power 119 kw	1	Internal combustion
2	High-speed mixer	ZJY-400	1600 r/min	1	
3	Low-speed mixer	JJS-2B	33.5 r/min	1	
4	High-pressure pump	SGB6-10	10 MPa	1	
5	High pressure dual slurry grouting pump	KBY-90/15	15 MPa	2	Electric
6	High pressure air compressor	2 MPa	20 m ³	1	Electric
7	Mixing barrel	LJ-1000L	90 r/min	2	
8	Automatic grouting recorder	GJY6		1 set	
9	Sewage pump		5 kw	2	
10	Flat truck			1	Transport cement



TMZ1250 crawler drill



High pressure air compressor

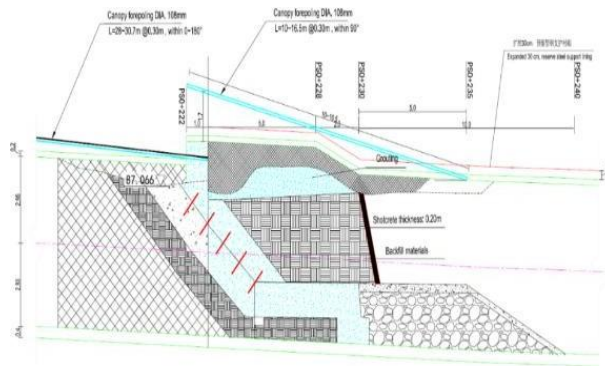
Gambar 6. Peralatan TMZ1250 untuk *grouting*



Gambar 7. Peralatan konvensional untuk *grouting*

Pelaksanaan Penanganan Runtuhan (*Collapse Treatment*)

Collapse treatment pada pembangunan terowongan PLTA Jatigede di *horizontal penstock section* PS 0+250–PS 0+223 secara garis besar terdiri dari pekerjaan *setting out*, pekerjaan *backfilling*, pekerjaan *steel support*, pekerjaan *grouting*, pekerjaan *canopy forepoling* serta pekerjaan *monitoring*.



Gambar 8. Kondisi area kerja *horizontal penstock section* PS 0+250–PS 0+223

Pekerjaan *Setting Out*

Sebelum melakukan *deformation treatment* tiap area, surveyor harus melakukan pengukuran dan *setting out*, serta menandai secara jelas kedalaman yang akan dikerjakan dengan ditandai cat merah. Tujuan dilakukannya *setting out* adalah sebagai acuan dan koordinat dalam pelaksanaan penanganan runtuh dan pekerjaan galian terowongan dilakukan tepat sesuai dengan posisi, arah dan dimensi yang direncanakan, baik secara horizontal maupun vertikal.

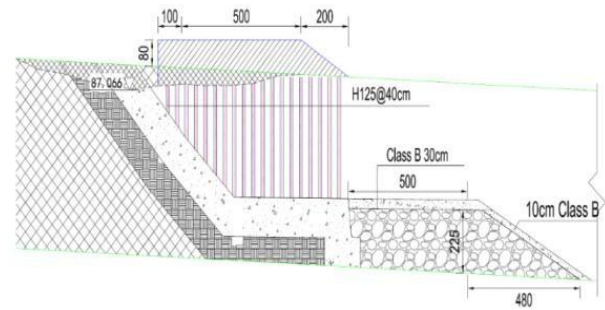


Gambar 9. Pelaksanaan *setting out*

Pekerjaan *Backfilling*

Pada pekerjaan penanganan runtuh area tersebut terdapat perbedaan elevasi sebesar 2,1 m antara *invert tunnel* dan *top heading tunnel*. Penanganan sementara agar tidak terjadi pergeseran tanah (deformasi) kembali yakni dengan melakukan pekerjaan ekskavasi di area sekitar *top heading tunnel*, kemudian dilakukan penimbunan kembali dengan beton kelas tipe B setebal 30 cm dituang di bagian atas dan beton kelas B setebal 10

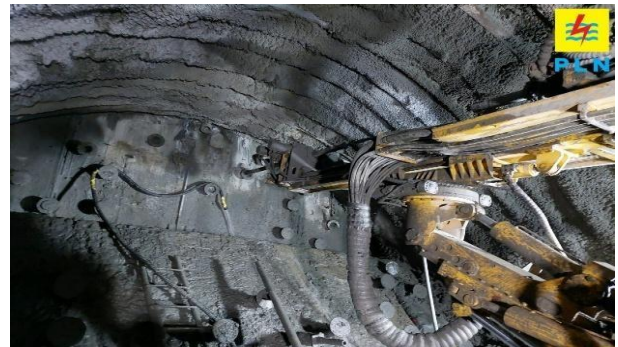
cm dituang di *invert tunnel*. Selama konstruksi penimbunan kembali, pipa drainase harus dilindungi dari kerusakan.



Gambar 10. Pelaksanaan pekerjaan *backfilling* dengan beton kelas tipe B

Pekerjaan *Steel Support*

Tahap selanjutnya yakni pemasangan baja H125 dengan jarak antar baja 80 cm, akan digunakan untuk tulangan jarak 15 m dipasang di *area top heading tunnel* untuk menyangga pelaksanaan *grouting* di *tunnel face*. Pemasangannya dilakukan di sisi kanan dan kiri *tunnel* secara bergantian untuk menggantikan *steel support* yang mengalami deformasi. Pemasangan penyangga baja I200 dipasang di bagian bawah dan ditutup membentuk cincin di atas dinding penahan beton lalu pemasangan *shotcrete* dan penyangga lainnya sampai semua *steel support* terpasang.



Gambar 11. Pemasangan *steel support*

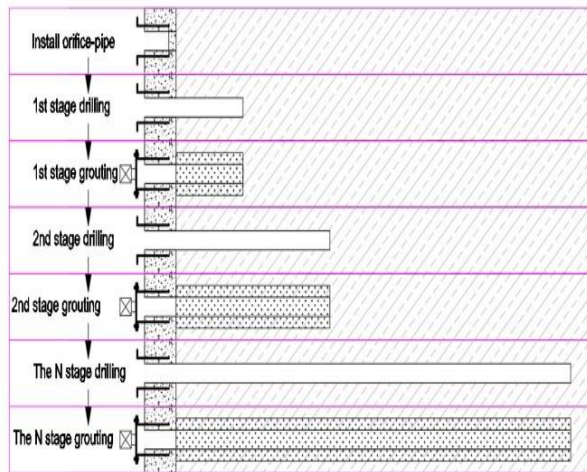
Pekerjaan Grouting

Tahapan pelaksanaan pekerjaan *grouting* yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- Tandai posisi lubang dan tentukan sudut pengeboran. Tandai posisi lubang pada permukaan kerja dengan cat merah sesuai desain, sejajarkan alat bor dengan posisi lubang dan sesuaikan alat bor dengan arah pengeboran yang diinginkan.
- Jika kondisi geologis baik dan tidak terjadi keruntuhan lubang dan masuknya lumpur selama pengeboran, mata bor diameter 130 mm harus digunakan untuk memulai pengeboran dengan

kecepatan rendah hingga kedalaman 1,3 m, kemudian memasang pipa orifis sepanjang 1,5 m yang terbuat dari pipa baja *seamless* diameter 108 mm. Setelah pipa orifis terpasang, pengeboran dilakukan hingga kedalaman desain dan penyegelan lubang dilakukan untuk memastikan pipa orifis terpasang dengan kuat tanpa kebocoran lumpur.

- c. Jika kondisi geologis buruk dan keruntuhan lubang serta masuknya lumpur dapat terjadi selama pengeboran, mata bor diameter 150 mm harus digunakan untuk memulai pengeboran dengan kecepatan rendah hingga kedalaman 1,3 m, kemudian memasang pipa orifis sepanjang 1,5 m yang terbuat dari pipa baja *seamless* diameter 146 mm. Sebelum pengeboran, katup gerbang bertekanan tinggi harus dipasang di ujung depan pipa orifis. Konstruksi pengeboran dan *grouting* harus dilakukan melalui katup gerbang bertekanan tinggi dan *casing* diameter 108 mm harus dipasang untuk melindungi pengeboran lubang. Setelah pengeboran mencapai kedalaman desain, pasang pipa PVC berlubang dan tarik *casing* untuk *grouting*.



Gambar 12. Tahapan pelaksanaan *drilling* dan pemasangan *grouting*

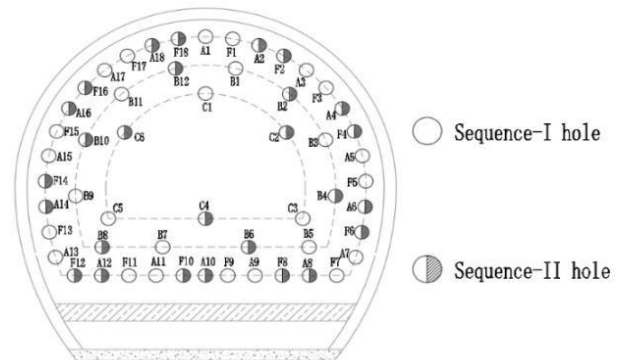


Gambar 13. Pelaksanaan *drilling* dengan alat TMZ1250 crawler drill

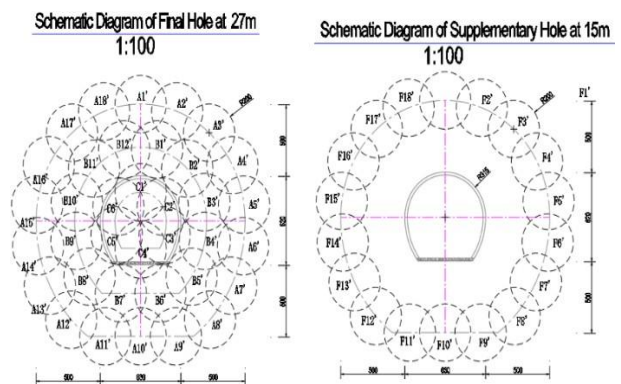


Gambar 14. Pelaksanaan *grouting*

Pekerjaan pada area runtuh memiliki panjang longitudinal sebesar 27 m (tidak termasuk dinding untuk *grouting*). Pekerjaan *grouting* dibagi menjadi dua bagian dengan total 54 lubang *grouting*, termasuk 18 lubang di bagian lubang pertama sepanjang 15 m dan 36 lubang di bagian lubang kedua sepanjang 27 m sesuai dengan gambar di bawah ini.



Gambar 15. Lubang *grouting*

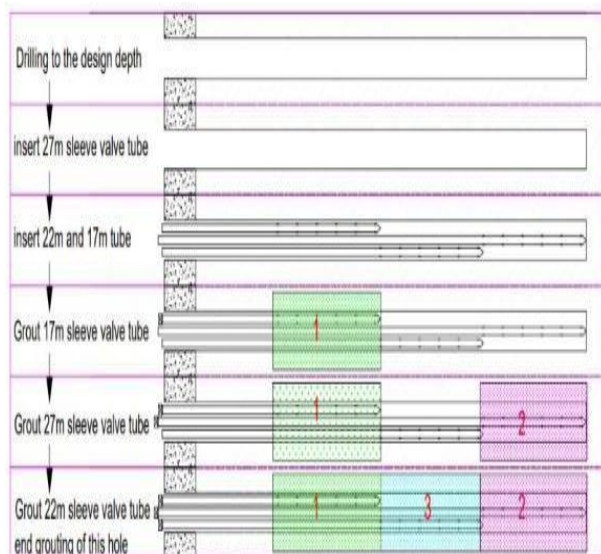


Gambar 16. Detail bagian lubang *grouting*

Proses konstruksi *grouting* bertahap *horizontal sleeve valve bundle* adalah sebagai berikut:

- a. Kalibrasikan posisi lubang dan atur sudut pengeboran. Tandai posisi bukaan lubang pada permukaan kerja dengan cat merah sesuai desain,

- sejajarkan alat bor dengan posisi lubang dan sesuaikan alat bor dengan arah pengeboran desain.
- Pengeboran lubang, jika kondisi geologis baik dan tidak terjadi keruntuhan lubang dan masuknya lumpur selama pengeboran, mata bor diameter 130 mm harus digunakan untuk pengeboran hingga kedalaman desain dan batang bor harus ditarik kembali. Jika kondisi geologis buruk dan keruntuhan lubang serta masuknya lumpur dapat terjadi selama pengeboran, *casing* diameter 108 mm harus digunakan untuk melindungi lubang pengeboran. Setelah pengeboran mencapai kedalaman lubang desain, *casing* harus ditarik keluar saat tabung katup selongsong terpasang dan kemudian dilakukan *grouting*.
 - Pemasangan *sleeve valve bundle* dilakukan dengan memasang *sleeve valve bundle* diameter 32 mm sepanjang 27 m ke dasar lubang, lalu *sleeve valve bundle* sepanjang 22 m dan terakhir *sleeve valve bundle* sepanjang 17 m. *Sleeve valve bundle* harus dibiarkan terbuka ke dinding untuk proses *grouting* sekitar 30 cm agar memudahkan pengelasan sambungan *grouting*.
 - Pekerjaan *grouting* dilakukan dengan menyambungkan *sleeve valve bundle* 17 m untuk *grouting*. *Grouting* dapat dihentikan ketika mencapai kriteria penolakan; kemudian, *grouting sleeve valve bundle* 27 m harus dilakukan dan terakhir *grouting sleeve valve bundle* 22 m harus dilakukan.



Gambar 17. Tahapan *grouting horizontal sleeve valve bundle*

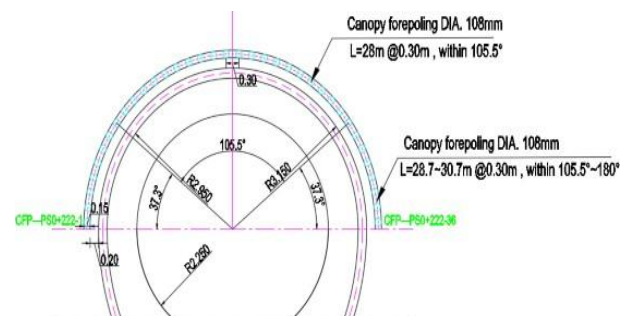
Pekerjaan *Canopy Forepoling*

Tahapan pelaksanaan *canopy forepoling* dalam penanganan runtuhan (*collapse treatment*) di area

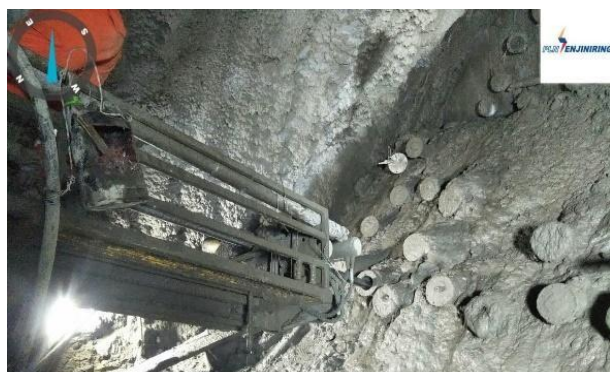
horizontal penstock section PS 0+250–PS 0+223 adalah sebagai berikut:

- Posisi pengeboran sesuai sudut desain, bor dengan mata bor diameter 130 mm hingga mencapai kedalaman sesuai dengan desain, kemudian menggunakan mata bor diameter 90 mm untuk mengebor hingga *top heading area tunnel face*.
- Setelah lubang utama selesai, mundurkan batang bor, gunakan udara bertekanan tinggi untuk menghilangkan terak dan masukkan pipa baja dipasang dengan jarak 0,4 m, kemudian *cement grouting* dimasukkan kedalam *tunnel face* melalui pipa baja.
- Kedalaman pipa baja kanopi yang panjang, jika pipa baja kanopi tidak dapat dipasang dengan mulus dengan menggunakan metode di atas, mata bor diameter 130 mm harus digunakan untuk mengawali lubang dan *casing* 108 mm harus diikuti hingga mencapai kedalaman sesuai dengan desain.
- Untuk menghindari sambungan pipa kanopi pada bagian yang sama dan memengaruhi daya dukung, pipa baja kanopi yang berdekatan harus dibuat berbeda panjangnya dan disambung dengan ulir.
- Grouting canopy forepoling* harus dilakukan sekaligus di seluruh lubang. *Cement grouting* digunakan dengan rasio air semen (0,8~1):1, dan tekanan *grouting* akhir 2~3Mpa.

Setelah pekerjaan penguatan *grouting tunnel face* selesai, konstruksi *canopy forepoling* berukuran diameter 108 mm dengan panjang memanjang 28~29,3 m digunakan sebagai *rigid support*. Pipa baja ini disusun dalam sudut 180° di area *top heading tunnel*. Jarak keliling pipa baja kanopi adalah 30 cm, sudut luar 5° dan lubang akhir berjarak 1,5 m dari garis kontur galian.



Gambar 18. Layout *canopy forepoling*



Gambar 19. Pelaksanaan *canopy forepoling*



Gambar 20. Pemantauan tekanan *grouting*

Pekerjaan *Monitoring*

Pekerjaan *monitoring* dilakukan untuk memastikan keamanan struktur selama proses *grouting* dan mencegah kembali terjadinya pergeseran ataupun runtuh. Pekerjaan *monitoring* konstruksi harus dilakukan dalam radius 20 m di belakang dinding *grouting* selama proses pengeboran dan *grouting*. Beberapa poin dalam *monitoring* harus memperhatikan penurunan lengkung *crown*, perkuatan dinding samping dan pergeseran *tunnel face grouting*.

Disposal Area

Sesuai dengan prinsip *net zero emission* yang digunakan dalam pembangunan PLTA Jatigede 2×55 MW, material limbah tanah yang dihasilkan dari runtuh di *horizontal penstock section* PS 0+250–PS 0+223 dibuang ke *disposal area* yang berjarak kurang lebih 300 meter dari lokasi, sedangkan tanah yang bagus digunakan kembali untuk timbunan di area sekitar *power house* PLTA Jatigede 2×55 MW. Hal ini seperti yang tertuang dalam dokumen kontrak dalam item *environmental and safety consideration* dan item *spoil disposal*, bahwa semua dipastikan untuk pembuangan semua material galian berlebih, dari sumber mana pun, mematuhi semua persyaratan hukum dan lingkungan dari pemerintah.

KESIMPULAN

Kondisi batuan di area *horizontal penstock* di *section* PS 0+250–PS 0+223 merupakan batuan transisi

antara breksi dan *clay*. Dalam hal ini *clay* masuk ke dalam batuan jenis RMT V (jenis batuan yang sangat buruk). Penanganan runtuh di *horizontal penstock tunnel section* PS 0+250–PS 0+223 PLTA Jatigede 2×55 MW dilakukan selama kurang lebih 3,5 tahun dengan menggunakan berbagai metode dan peralatan. Dalam kurun waktu tersebut, dilakukan penyempurnaan terhadap metode dan peralatan yang digunakan untuk penanganan runtuh, meliputi tahapan pekerjaan *setting out*, pekerjaan *backfilling*, pekerjaan *steel support*, pekerjaan *grouting*, pekerjaan *canopy forepoling* dan pekerjaan *monitoring*. Berdasarkan hasil evaluasi yang dilakukan bahwa metode *grouting* dan *canopy forepoling* adalah metode yang paling efektif untuk *collapse treatment*, dengan material yang digunakan adalah *High Performance Concrete (HPC) special cement admixture for grouting* dengan proporsi dan komposisi sesuai Tabel 2. Peralatan yang digunakan pun terus dievaluasi dan disesuaikan dengan kondisi di lapangan dan harus sesuai spesifikasi dan dimensinya, dan disimpulkan mesin TMZ1250 *crawler drill* yang paling efektif digunakan. Sehingga dapat disimpulkan metode *grouting* dan *canopy forepoling* dengan penggunaan material HPC dan mesin TMZ1250 *crawles drill* merupakan cara yang paling efektif dan tepat untuk menyelesaikan permasalahan runtuh di *horizontal penstock tunnel section* PS 0+250–PS 0+223. Penyelesaian limbah material juga telah dilakukan sesuai dengan prinsip *net zero emission* yang mana untuk material yang masih bagus digunakan kembali untuk timbunan di area sekitar *powerhouse* PLTA Jatigede 2×55 MW, sedangkan material tidak bagus/jelek dibuang di *disposal area* yang berjarak sekitar 300 m dari *tunnel*.

Berdasarkan kesimpulan di atas, material HPC dan mesin TMZ1250 *crawler drill* terbukti efektif dalam pekerjaan *grouting* dan *canopy forepoling* pada kondisi batuan yang buruk, sehingga penulis dapat merekomendasikan agar penggunaan mesin TMZ1250 atau peralatan sejenis dengan spesifikasi setara dijadikan standar alat bor utama untuk pekerjaan pengeboran pada area dengan potensi runtuh atau batuan tidak stabil di proyek-proyek terowongan berikutnya. Pelaksanaan *collapse treatment* di proyek-proyek terowongan mendatang perlu direncanakan dengan pendekatan terpadu antara evaluasi geoteknik, metode *pre-support*, penggunaan alat yang sesuai (seperti TMZ1250 *crawler drill*), *monitoring* berkelanjutan, serta manajemen keselamatan kerja dan lingkungan. Dengan penerapan rekomendasi ini, diharapkan risiko runtuh dapat diminimalkan dan efektivitas pekerjaan terowongan dapat meningkat secara signifikan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada PT PLN (Perseo) UIP JBT, PT PLN (Persero) UPP JBT 2, PT PLN (Persero) UPP JBT 3 dan PT PLN Enjiniring

DAFTAR PUSTAKA

- Bieniawski, Z. T. (1989). *Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering*. John Wiley & Sons.
- Choudhary, R. K., Dubey, S., & Lakra, M. K. (2025). Treatment of collapsed faces of hydraulic tunnels passing under natural stream with low cover-A case study of Teesta-VI hydroelectric project (500 MW) in Sikkim (India). In *Tunnelling into a Sustainable Future-Methods and Technologies* (pp. 3685-3692). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003559047-469>
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Manusia. (2013). *Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 21 Tahun 2013 tentang Perubahan Kedua atas Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 15 Tahun 2010 tentang Daftar Proyek-Proyek Percepatan Pembangunan Pembangkit Tenaga Listrik yang Menggunakan Energi Terbarukan, Batubara dan Gas serta Transmisi Terkait*. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2015). *Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 0074 K/21/MEM/2015 tentang pengesahan rencana usaha penyediaan tenaga listrik PT Perusahaan Listrik Negara (Persero) tahun 2015 s.d. 2024*. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia.
- 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. *Jurnal Profesi Insinyur Indonesia*, 3(1), 1-9.
- Nepal, K. M. (2024). Application of High-Pressure Grouting and Pipe Forepoling for Tunnel Excavation in Jatigede Hydropower Project, Indonesia-An Experience. *Journal of Rock Mechanics and Tunnelling Technology (JRMTT)*, 30(2), 100-119.
- Nonveiller, E. (2013). *Grouting theory and practice* (Vol. 57). Elsevier.
- Peraturan Presiden. (2010). *Peraturan Presiden (PerPres) Nomor 4 Tahun 2010 tentang Penugasan Kepada PT Perusahaan Listrik Negara (Persero) untuk Melakukan Percepatan Pembangunan Pembangkit Tenaga Listrik yang Menggunakan Energi Terbarukan, Batubara, dan Gas*. Sekretariat Negara Republik Indonesia.
- Pradiani, A. D., & Nurhasanah, N. (2021). Analisis faktor keterlambatan COD proyek PLN UIP Kalbagtim dengan metode analytical hierarchy process dan fault tree analysis. *Jurnal Al-Azhar Indonesia Seri Sains Dan Teknologi*, 6(1), 34-42.
- Schlotfeldt, P., Carvalho, J., & Panton, B. (2025). Root cause analysis of a collapse in a hydropower tunnel. *Applied Sciences*, 15(3), 1437. <https://doi.org/10.3390/app15031437>
- Zhang, D., Fang, Q., & Lou, H. (2014). Grouting techniques for the unfavorable geological conditions of Xiang'an subsea tunnel in China. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 6(5), 438-446.