

METODE PEKERJAAN TEROWONG

Imam Fahrul Islam (23-845)

ABSTRAK

Bendungan Mbay terletak di Kabupaten Nagekeo, Provinsi Nusa Tenggara Timur. Secara teknis bendungan ini memiliki volume tampungan total 51,74 juta m³ dengan luas genangan 499,44 Ha. Diadakannya proyek bendungan ini dalam rangka mendukung program ketahanan pangan dan meningkatkan tampungan air di Provinsi Nusa Tenggara Timur. Pelaksanaan kegiatan pembangunan Bendungan ini terbagi menjadi 2 paket, Paket 2 dikerjakan oleh kontraktor PT. Brantas Abipraya dengan lingkup pekerjaan untuk bangunan pengelak dan bangunan pelimpah. Metode pekerjaan pengelak khususnya galian tunnel menggunakan metode NATM (New Australian Tunneling Method). Dari metode tersebut dari awal target breaktrough awal november, realisasinya bisa terlaksana pada akhir bulan november. Kemunduran target dikarenakan adanya masalah lahan pada area pekerjaan. Selain pekerjaan galian, terdapat juga pekerjaan pembetonan terowong, pekerjaan pembetonan saat ini sisa 35 blok untuk slab, dan 65 blok untuk lining. Target pekerjaan pada sisa pembetonan di tunnel ditargetkan selesai dalam 45 hari kalender dari tanggal 9 desember 2023.

Kata Kunci : Galian, Pembetonan, *Tunnel*.

Latar Belakang

Bendungan Mbay merupakan satu dari 27 Bendungan Proyek Strategis Nasional (PSN) sesuai lampiran Peraturan Menteri Koordinator Bidang Perekonomian Republik Indonesia Nomor 7 tahun 2021. Diadakannya proyek bendungan ini dalam rangka mendukung program ketahanan pangan dan meningkatkan tampungan air di Provinsi Nusa Tenggara Timur. Dari sisi teknis perencanaan, bendungan ini memiliki volume tampungan total 51,74 juta m³ dengan luas genangan 499,44 Ha. Konstruksi bendungan didesain dengan tinggi 48 m, lebar 12 m dan panjang 436 m. Bendungan ini didesain dengan tipe zonal dengan inti tegak.

Pelaksanaan kegiatan pembangunan Bendungan Mbay di Kabupaten Nagekeo terbagi menjadi 2 paket, Paket 1 dikerjakan oleh kontraktor Waskita Karya - Bumi Indah KSO dan Paket 2 oleh kontraktor PT. Brantas Abipraya (Persero). Bendungan yang dikerjakan sejak tahun 2021 ini dibangun dengan anggaran Rp1,915 triliun dengan menghasilkan air baku 0,21 m³/detik dan memberikan manfaat irigasi terhadap 5.899 Ha lahan pertanian.

Lingkup pekerjaan secara umum yang dikerjakan oleh Brantas Abipraya adalah bangunan pengelak dan bangunan pelimpah. Item pekerjaan kritis pada proyek ini adalah pekerjaan bangunan pengelakan. Hal ini dikarenakan, jika bangunan pengelakan terlambat, maka pekerjaan timbunan pada tubuh bendung akan terjadi keterlambatan pula. Untuk bangunan penggelakan terdapat beberapa item pekerjaan antara lain pekerjaan temporary cofferdam, pekerjaan saluran pengarah inlet dan outlet, galian terowong, pembetonan terowong dan conduit. Pada saat penulis bertugas di bendungan mbay, salah satu pekerjaan yang sedang dikerjakan dan menarik untuk dibahas adalah pekerjaan galian terowong dan pembetonannya. Oleh karena itu, penulis akan membahas metode pekerjaan terowong pada artikel ini.

Metodelogi

Metode yang dilakukan untuk membuat tulisan ini adalah membandingkan dan mengelaborasi hasil dari studi literatur dan observasi lapangan. Studi literatur merupakan serangkaian kegiatan yang berkenaan dengan metode pengumpulan data pustaka, membaca dan mencatat, serta mengelolah bahan penelitian. Sedangkan observasi lapangan adalah serangkaian kegiatan yang bertujuan untuk mendapatkan informasi dengan menggali informasi dilapangan atau melalui serangkaian pengalaman secara langsung.

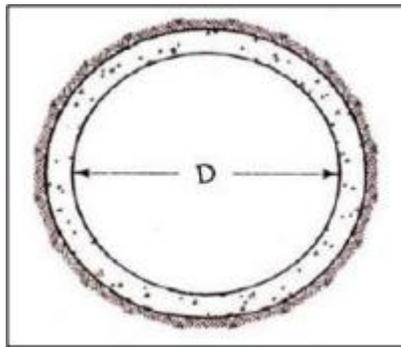
Tinjauan Pustaka

a. Terowong

Terowongan adalah struktur bawah tanah yang mempunyai panjang lebih dari lebar penampang galiannya, dan mempunyai gradien memanjang kurang dari 15%. Terdapat empat macam bentuk terowongan yang sering digunakan dalam infrastruktur di berbagai dunia, yaitu :

1. Terowongan Lingkaran

Terowongan bentuk ini cocok untuk menahan efek tekanan internal atau eksternal yang tinggi serta cocok untuk saluran atau terowongan air.



Gambar 1 Terowongan Lingkaran

2. Terowong Persegi

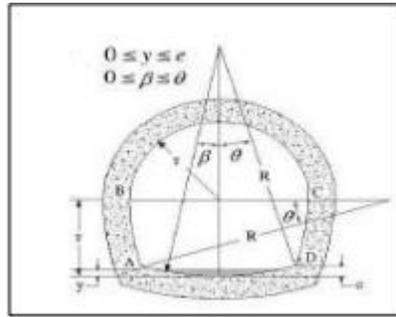
Terowongan bentuk ini cocok dibangun pada lapisan tanah berjenis batuan keras, tetapi terowongan ini tidak ekonomis dan tingkat kesulitan dalam pembangunannya tinggi.



Gambar 2 Terowongan Persegi

3. Terowongan Tapal Kuda

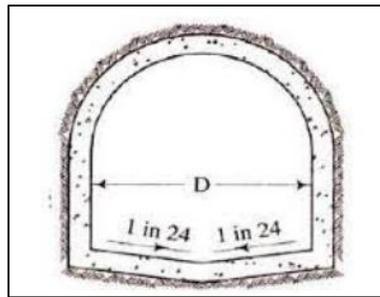
Terowongan bentuk ini cocok dibangun pada lapisan tanah berjenis soft soils, lebih cocok untuk terowongan kereta api karena memiliki dimensi yang lebar.



Gambar 3 Terowongan Bentuk Tapal Kuda

4. Terowongan Berbentuk Huruf D

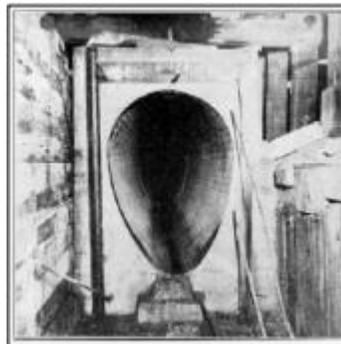
Terowongan bentuk ini cocok untuk terowongan kereta bawah tanah (Sub-ways) dan terowongan navigasi.



Gambar 4 Terowongan Berbentuk D

5. Terowongan Bentuk Telur

Terowongan bentuk ini sama dengan terowongan bentuk lingkaran yang mampu menahan tekanan yang tinggi dari dalam maupun dari luar terowongan.



Gambar 5 Terowongan Berbentuk Telur

Berdasarkan dari desain perencanaan tunnel pada bendungan mbay, struktur tunnel berbentuk tapal kuda.

b. NATM (New Australian Tunneling Method)

NATM secara definisi menurut Sauer (1988) 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. Prinsip utama yang perlu diperhatikan dari metode konstruksi NATM ini adalah :

1. Kekuatan Masa 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.

3. Penutup Invert

Pembuatan penutup invert dan membuat cincin bantalan beban harus disesuaikan dengan waktu yang tepat serta tergantung pada kondisi tanah di lapangan.

Untuk menentukan masa batuan maka dilihat kondisi RMR (Rock Mass Rating). Dari nilai RMR tersebut akan diketahui perkuatan apa yang perlu dilakukan untuk menjaga galian pada terowong tetap aman.

Tabel 1 Ketentuan Pekerjaan Perkuatan Galian Berdasarkan Nilia RMR

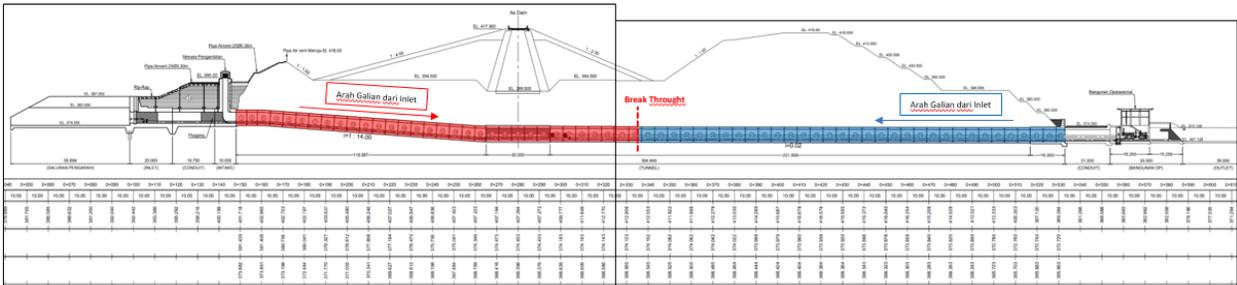
ROCK MASS CLASS	EXCAVATION	SUPPORT		
		Rockbolts (d = 20 mm, fully grouted)	Shotcrete	Steel sets
(I) RMR 100 - 81 VERY GOOD ROCK	Full face. 3 m advance.	Generally no support required except spot bolting		
(II) RMR 80 - 61 GOOD ROCK	Full face. 1 - 1.5 m advance. Complete support 20 m from face.	Locally bolts in crown 3 m long, spaced 2.5 m with occasional wiremesh	50 mm in crown where required	None
(III) FAIR ROCK RMR 60 - 41	Top heading and bench. 1.5 - 3 m advance in top heading.. Commence support after each blast. Complete support 10 m from face	Systematic bolts 4 m long, spaced 1.5 - 2 m in crown and walls with wiremesh in crown.	50 - 100 mm in crown and 30 mm in sides	None
(IV) POOR ROCK RMR 40 - 21	Top heading and bench. 1 - 1.5 m advance in top heading. Install support concurrently with excavation 10 m from face.	Systematic bolts 4 - 5 m long, spaces 1 - 1.5 m in crown and walls with wiremesh	100 - 150 mm in crown and 100 mm in sides	Light to medium ribs spaced 1.5 m where required
(V) VERY POOR ROCK RMR ≤20	Multiple drifts. 0.5 - 1.5 m advance in top heading. Install support concurrently with excavation. Shotcrete as soon as possible after blasting.	Systematic bolts 5 - 6 m long, spaces 1 - 1.5 m in crown and walls with wiremesh. Bolt invert	150 - 200 mm in crown, 150 mm in sides, and 50 mm on face	Medium to heavy ribs spaced 0.75 m with steel lagging and forepoling if required. Close invert

Hasil dan Pembahasan

Terowong pada bendungan mbay berbentuk tapal kuda yang memiliki panjang 355 m dan lebar kurang lebih 5 m. Fungsi terowong ini sebagai bangunan pengelak saat pekerjaan tubuh bendung berlangsung. Pada pekerjaan terowong ini ada beberapa item pekerjaan antara lain :

1. Pekerjaan Galian
2. Pekerjaan Pembetonan dan
3. Pekerjaan Grouting

Dalam pengerjaannya, galian terowong dilakukan dua arah dari inlet mulai sta 0+148 sampai sta 0+333,5 (kearah hilir aliran). Sedangkan galian dari outlet mulai dari sta 0+530 hingga sta 0+333,5 (kearah hulu aliran).

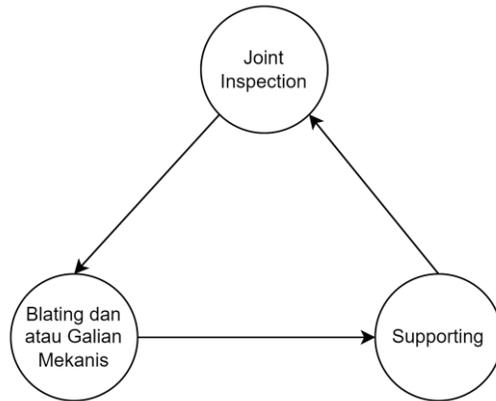


Gambar 6 Rencana Galian Terowong

a. Pekerjaan Galian Terowong

Pekerjaan galian terowong direncanakan menggunakan metode NATM (New Australian Tunneling Method). NATM merupakan metode penggalian terowong dengan melihat kondisi RMR (Rock Mass Rating) pada face batuan. Output dari RMR adalah suatu nilai empiris pada suatu massa batuan sehingga dapat mengevaluasi ketahanan pada batu tersebut. Dari nilai RMR dapat ditentukan kekuatan apa yang diperlukan pada terowong sehingga tidak terjadi keruntuhan yang menyebabkan kecelakaan kerja.

Berdasarkan hasil stratigrafi geologi nilai estimasi dari RMR pada area pekerjaan ada dalam range 50-40 sehingga jenis kekuatan yang diperlukan antara lain yaitu pemasangan rockbolt, shotcrete dan steel support. Berdasarkan hasil observasi dilapangan, berikut merupakan step pekerjaan yang dilakukan sehingga membentuk suatu siklus pekerjaan :



Sebelum dilakukan pekerjaan galian, diperlukan joint inspection untuk melihat kondisi batuan pada face galian. Dari hasil RMR tersebut bisa diputuskan apakah galian tersebut dilakukan fullface secara mekanis, dapat juga dilakukan top heading (mekanis) sedangkan bench (blasting), atau bisa juga dilakukan full face dengan blasting.

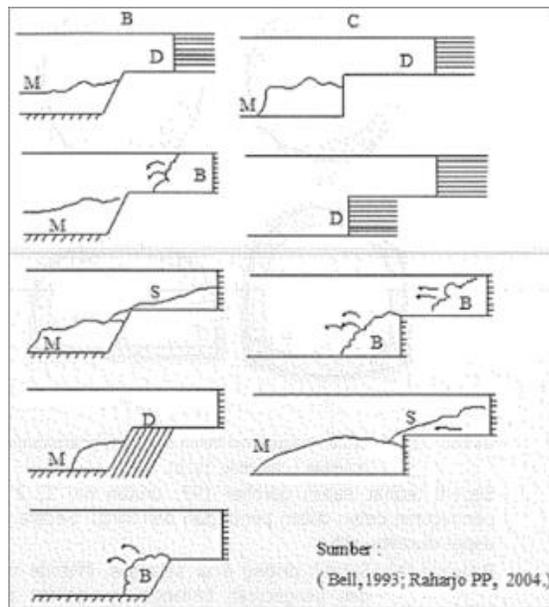
Jika nilai RMR nya poor rock dan hanya bisa dilakukan galian mekanis maka metode pekerjaan yang akan dilakukan antara lain :

Marking → Galian → Mucking and Loading → Primary Shotcrete → Pemasangan Steel Support → Pemasangan Wiremesh dan Angkur → Secondary Shotcrete.

Pekerjaan	Hari - 1																											
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7				
Marking																												
Galian																												
Mucking																												
Setting																												
Shotcrete																												

Gambar 7 Sequence Waktu Full Face Mekanis

Jika nilai RMRnya ternyata fair rock maka galian bisa dilakukan kombinasi antara mekanis dan blasting atau dengan metode top heading and bench.



Gambar 8 Skema Top Heading And Bench

Ilustrasi gambar diatas memiliki penjelasan :

Metode top heading and bench (B)

(1) pemboran horizontal → (2) peledakan bagian atas → (3) perataan (scaling) → (4) → pemindahan hasil peledakan bagian atas → (5) pemboran vertikal bagian bawah → (6) peledakan bagian bawah.

Metode top heading and bench (C)

(1) pemboran bagian atas secara horizontal → (2) pemindahan hasil ledakan bagian bawah → (3) pemboran bagian bawah secara horizontal → (4) peledakan bersamaan bagian atas dan bawah → (5) perataan bagian atas → pemindahan hasil ledakan bagian atas bawah.

Ditabel RMR jika batuan ternyata diklasifikasikan kedalam “good rock” maka blasting bisa dilakukan secara menyeluruh atau fullface. Untuk alur pelaksanaan full face antara lain :

(1) Drilling dan charging → (2) Blasting → (3) Primary Shotcrete → (4) Instalasi Steel Support → (5) Instalasi Wiremesh dan Angkur → (6) Secondary Shotcrete → (7) Lanjutkan ke segmen selanjutnya.



Gambar 11 Hasil Galian Blasting

Setelah dilakukan blasting, maka ditunggu terlebih dahulu asap blasting keluar kemudian selanjutnya dilakukan pekerjaan chipping pada area top galian dan loading batuan hasil blasting. Pada tanggal 2 september 2023, galian di inlet sudah mencapai sta 0+333.5 oleh karena itu pekerjaan blasting hanya dilakukan pada arah outlet ke hulu. Sebelum dilakukan penggalian selanjutnya, perlu pekerjaan supporting perlu dipasang terlebih dahulu yaitu rockbolt dan shotcrete 10 m dari face galian. Setelah supporting minimum terpasang maka bisa dilakukan penggalian lanjutan.

Item yang tidak boleh dilupakan dan menyangkut kepada pekerjaan blasting adalah pekerjaan perkuatannya (supporting). Hal ini dikarenakan ada batas maksimum pekerjaan dapat dilanjutkan, yaitu perlu ada supporting minimal 10 m dari face galian. Pekerjaan supporting antara lain :

- Pemasangan steel support

Pemasangan steel support berfungsi sebagai penopang utama terowongan dari keruntuhan. Material menggunakan WF yang dibentuk dengan bantuan bending machine sesuai dengan bentuk muka terowongan. Jarak antar steel rib dibuat 1,5 m.



- Pemasangan wiremesh

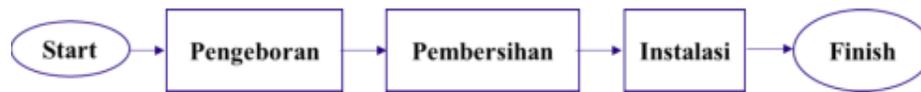
Wiremesh yang digunakan pada bendunga mbay berukuran 5,4 x 2,1. Pemasangan wiremesh dibantu menggunakan excavator bucket yang telah dilengkapi keranjang miner. Wiremesh dipasang di antara steel support dan diperkuat dengan ikatan kawat dan angkur D16 dengan panjang 50 cm. Wiremesh tidak menempel pada galian face tunnel.

- Pekerjaan shotcrete

Pada pekerjaan shotcrete ada dua jenis yaitu primary shotcrete dan secondary shotcrete. Primary shotcrete bertujuan untuk melapisi face terowongan dari reruntuhan tanah, bebatuan terhadap man power atau alat di sekitar. Sehingga fungsinya hanya untuk penyangga sementara agar tidak terjadi keruntuhan. Sedangkan secondary shotcrete bertujuan untuk melapisi wiremesh dan sebagai finishing pekerjaan Galian Terowongan. Produksi material shotcrete menggunakan kompresor, mesin aliva dan dibantu menggunakan excavator bucket yang sudah dilengkapi dengan keranjang miner dengan ketebalan 10 cm.

- Dan pemasangan rockbolth

Rockbolt merupakan penyangga aksial/aktif yang sangat diperlukan untuk mengurangi resiko runtuh pada terowongan. Material rockbolt yang digunakan adalah baja ulir dan mur dengan diameter 25mm. Rockbolt ditanam pada lubang bor dengan menggunakan material grouting, yaitu semen PCC ditambah air dengan nilai pull out sesuai spesifikasi teknis. Berikut tahapan pekerjaan rockbolt :



Dengan sumber daya manusia dan alat yang ada, Siklus pekerjaan yang dilakukan dilapangan dilakukan dua shift yaitu shift malam dan shift pagi dengan target hari pertama 2 kali blasting dan hari kedua 1 kali blasting. hari kedua dilakukan 1 kali blasting dikarenakan untuk mengejar item supporting yang harus terpasang minimal 10 m dari face galian. Berikut merupakan siklus pekerjaan galian tunnel yang dilakukan dilapangan :

Hari	Jam	Pekerjaan	Volume	Waktu
Pertama	08.00 - 09.00	Marking		1 jam

Hari	Jam	Pekerjaan	Volume	Waktu
	09.00 - 10.00	Drilling	30-40 titik	1 jam
	10.00 - 11.30	Charging dan Blasting	30-40 titik	1.5 jam
	11.30 - 12.00	Mucking In and Out	3 meter	2 jam
	12.00 - 13.00	Istirahat		
	13.00 - 14.30	Mucking In and Out	3 meter	2 jam
	14.30 - 16.30	Chipping dan Drilling Rockbolth	3 meter	2 jam
	16.30 - 18.00	Mucking In and Out	3 meter	1.5 jam
	18.00 - 20.00	Istirahat		
	20.00 - 21.00	Marking		1 jam
	22.00 - 23.00	Drilling	30-40 titik	1 jam
	23.00 - 00.30	Charging dan Blasting	30-40 titik	1.5 jam
	01.00 - 03.00	Mucking In and Out	3 meter	2 jam
	03.00 - 05.00	Chipping	3 meter	2 jam
Kedua	08.00 - 10.00	Mucking In and Out	3 meter	2 jam
	10.00 - 11.00	Marking		1 jam
	11.00 - 12.00	Drilling	30-40 titik	1 jam
	12.00 - 13.30	Charging dan Blasting	30-40 titik	1.5 jam
	13.30 - 15.30	Mucking In and Out	3 meter	2 jam
	15.30 - 17.30	Chipping dan Drilling Rockbolth	3 meter	2 jam
	17.30 - 19.00	Mucking In and Out	3 meter	1.5 jam
	19.00 - 20.00	Istirahat		
	20.00 - 23.00	steel support	3 meter	3 jam
	23.00 - 00.00	wiremesh dan angkur	3 meter	2 jam
	00.00 - 01.00	Istirahat		
	01.00 - 02.00	wiremesh dan angkur		
	02.00 - 03.00	RockBolth	18 titik	2 jam
03.00 - 06.00	Shotcrete	3 meter	3 jam	



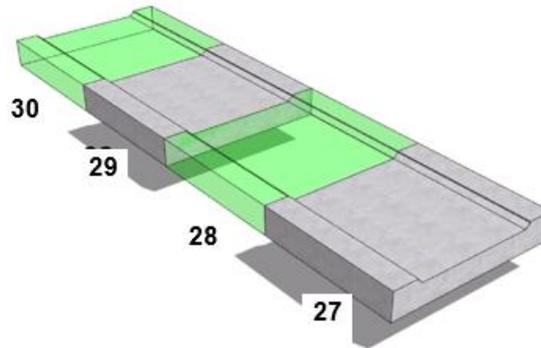
Gambar 12 Siklus Pekerjaan Galian Terowong

Dengan siklus pekerjaan diatas, pekerjaan galian dapat tembus pada tanggal 30 november 2023. Target awal breaktrough pada awal November, namun dalam perjalanannya terdapat beberapa kendala antara lain :

1. Terdapat demo pada tanggal 4 okt – 10 okt, dan 1 nov – 7 nov sehingga pekerjaan dilapangan terhenti
2. Terdapat acara adat pada tanggal 16 okt – 20 okt sehingga pekerjaan dilapangan terhambat
3. Material pendukung dilapangan telat dialokasikan karena dana cash proyek terbatas.

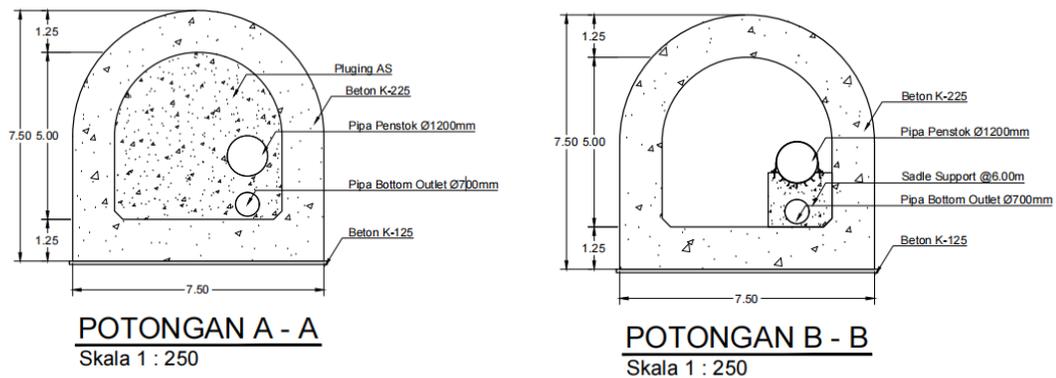
b. Pekerjaan Pembetonan Terowong

Pekerjaan pembetonan dilakukan pertama kali satu minggu setelah pekerjaan blasting di inlet selesai. Total pembetonan terbagi menjadi 65 blok, di inlet dari blok 1 – 30, sedangkan outlet blok 31 – 65. Metode pembetonan yang dilakukan menggunakan metode papan catur. Metode papan catur ini digunakan supaya pekerjaan pembesian dan pemasangan bekisting dapat dilakukan untuk 2 blok sekaligus. Misalnya pembesian blok 30 bisa dilakukan bersama – sama dengan blok 28. Blok 29 bisa dilakukan bersama dengan blok 27 dan seterusnya seperti itu.



Gambar 13 Ilustrasi Pembetonan Metode Papan Catur

Tahap pekerjaan pembetonan di tunnel antara lain : pembersihan lahan → LC → pembesian slab → bekisting slab → pembetonan slab → pembesian crown → bekisting crown → pembetonan crown → pembetonan bottom outlet → Plugging.



Gambar 14 Desain Pembetonan Tunnel

Beton pada blok 25 hingga 1 memiliki jenis spesifikasi beton K – 300 sedangkan untuk blok 26 hingga blok 65 memiliki jenis spesifikasi beton K – 225. Untuk pembesian tunnel memakai tulangan inti D22 dan tulangan baginya D16. Sumber daya tenaga yang tersedia dilapangan sebanyak 16 orang pekerja, dibagi menjadi 4 orang fabrikasi pembesian, dan untuk pemasangan besi terdapat 2 tim (6 orang pertim). dengan tenaga yang ada pekerjaan pembesian, pemasangan bekisting hingga pengecoran dilakukan 2 blok per 2 hari. Sedangkan untuk LC bisa dilakukan perdua hari mendapat 3 blok. Sehingga untuk pekerjaan slab pada dari blok 30 – 1 (inlet) bisa dilakukan selama 50 hari. Realisasi dilapangan, awal cor blok 30 pada tanggal 14 september

dan selesai sampai blok 1 pada tanggal 5 Desember 2023 kurang lebih memakan waktu 79 hari. Kendala pekerjaan dilapangan dikarenakan antara lain :

1. Terdapat off pekerjaan di bulan okt dan nov sebanyak masing – masing 10 hari dan 7 hari
2. Pengurangan tenaga kerja dikarenakan off cukup lama. Berkurang menjadi 8 orang.
3. Pembebanan biaya yang terlalu berat jika diserahkan hanya pada satu subkon.

Dari evaluasi tersebut, maka dilakukan penambahan pekerja dan penambahan subkon. Dimana subkon pada area inlet dan outlet dikerjakan oleh dua subkon yang berbeda. Subkon inlet dikerjakan oleh kasmui dan subkon outlet dikerjakan oleh bintang satoe dua. Untuk subkon inlet diminta untuk ditambah pekerja menjadi 21 orang. Dari kondisi tersebut, maka target pekerjaan pembetonan tunnel kurang lebih rampung selama 45 hari ditambah 24 hari untuk pekerjaan conduit.

Tabel 2 Target Pekerjaan Pembetonan Tunnel

No	Pekerjaan	Sisa Pekerjaan	Produktifitas	Total Hari
1	Pembetonan Lining (inlet)	30 Blok	1 blok / 1.5 hari	45 hari
2	Pembetonan Lining (Outlet)	35 Blok	1 blok / 1.5 hari	53 hari
3	Pembetonan Slab (outlet)	35 Blok	1 blok / hari	35 hari
4	Pembetonan Conduit Inelt	8 blok	3 hari / blok	24 hari
5	Pembetonan Conduit Inlet	4 blok	3 hari / blok	12 hari

Kesimpulan

Berikut kesimpulan pada artikel ini, antara lain :

1. Pekerjaan galian terowong menggunakan metode NATM dengan siklus blasting 2 kali blasting hari pertama dan 1 kali blasting pada hari kedua. Pada hari kedua dibuat 1 kali blasting supaya dapat mengejar pekerjaan supporting yang menjadi syarat pekerjaan galian pada tunnel bisa dilanjutkan.
2. Pekerjaan pembetonan diperlukan pemecahan subkon, dimana pada blok 30 – 1 dikerjakan oleh subkon kasmui dan pada blok 31 – 65 dikerjakan oleh subkon bintang satoe dua. Pemecahan pekerjaan ini dilakukan untuk mengejar target pekerjaan pembetonan di tunnel rampung dalam waktu 45 hari.

Daftar Pustaka

Department Pekerjaan Umum. *BLE – 07 = Pola Peledakan*. Badan Pembinaan Konstruksi dan Sumber Daya Manusia.

Yongki dkk. 2022. *OPERASI TUNNELING DENGAN METODE NATM PADA PEMBANGUNAN TEROWONGAN WALINI KERETA API CEPAT JAKARTA-BANDUNG*.

CRANE : Civil Engineering Research Journal. Volume 3 Nomor 1 Edisi April 2022. Jakarta.