



Mengenal Lebih Dekat Terowongan Tol Pertama di Indonesia

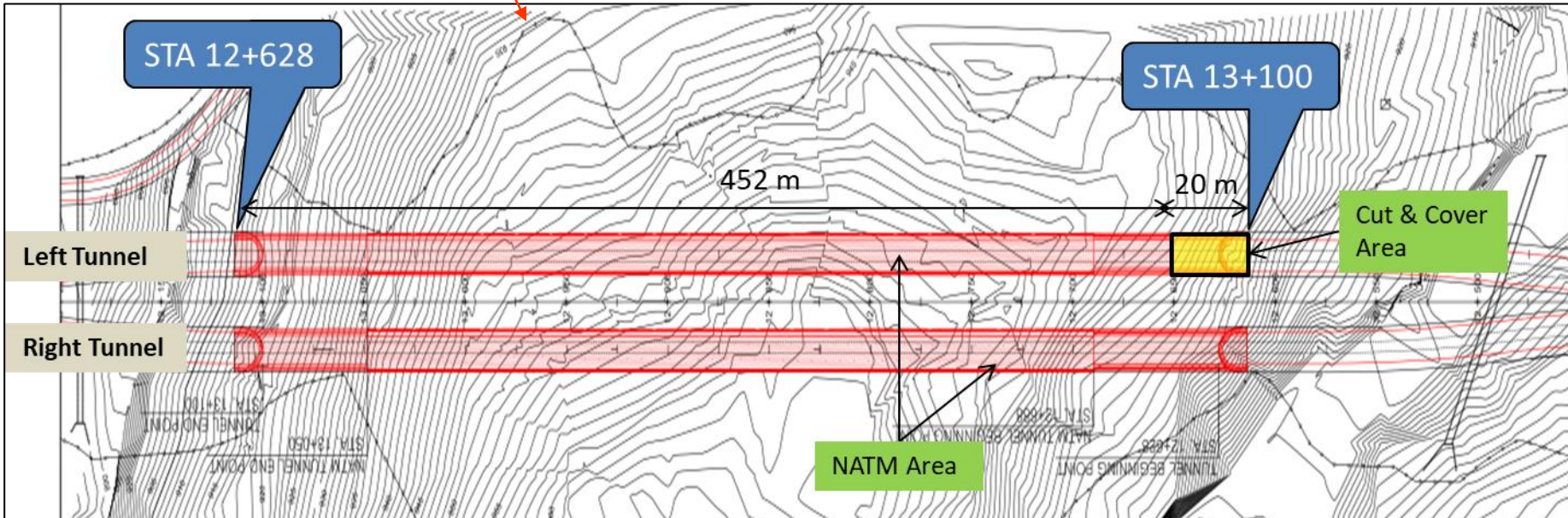
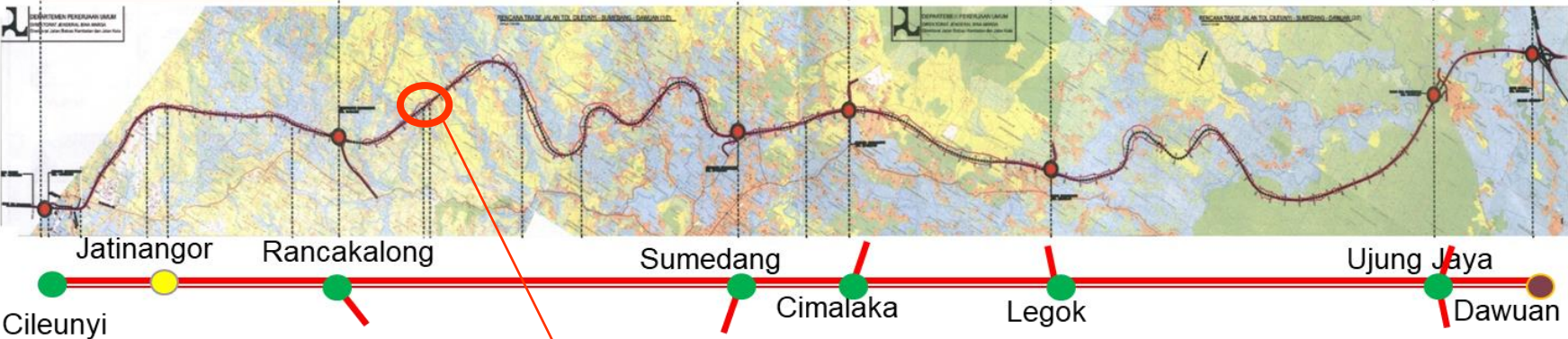
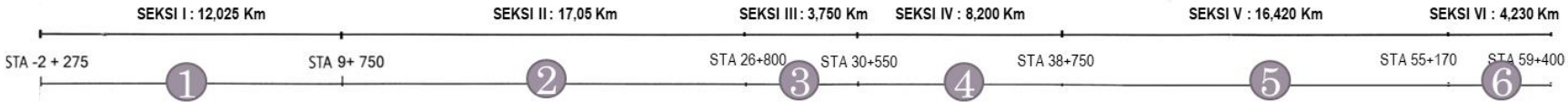
Fahmi Aldiamar (fahmi.aldiamar@pusjatan.pu.go.id)



Outline

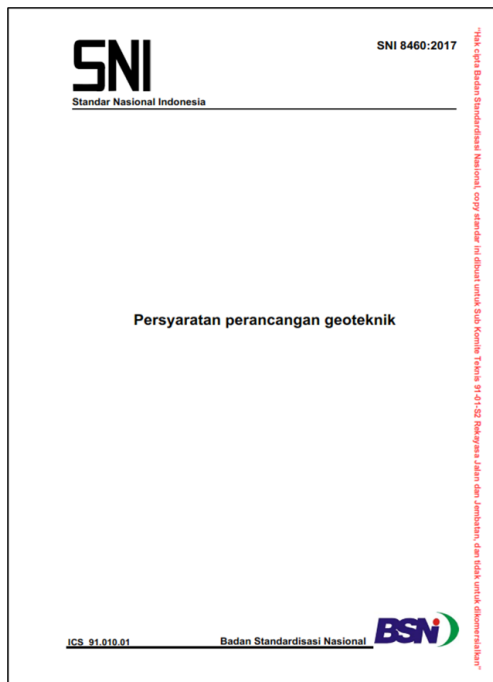
1. Peta Jalan Bebas Hambatan Cisumdawu
2. Standar Rujukan dan Kategori Tanah/Batuan
3. Kategori Tanah/Batuan Cisumdawu
4. Metode Penggalian dan Perkuatan Terowongan
5. Waterproofing dan Pembuatan Dinding
6. Portal Terowongan Cisumdawu

1. PETA JALAN BEBAS HAMBATAN CISUMDAWU



Sumber: Satker Tol Cisumdawu, 2017

2. STANDAR RUJUKAN DAN KATEGORI TANAH/BATUAN

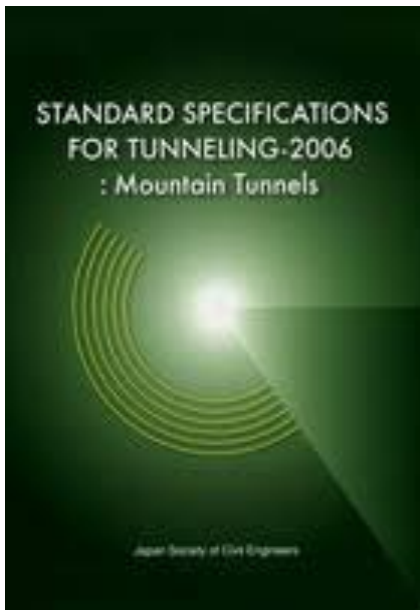


8.2.5.2 Analisis tanah/batuan

Analisis tanah/batuan harus mempertimbangkan adanya rentang karakter tanah/batuan yang memberikan perilaku berbeda bila dilakukan konstruksi terowongan. Oleh karena itu, *engineer* harus menyiapkan desain yang mengantisipasi perubahan dan hal-hal yang dibutuhkan (meliputi sarana-prasarana, metode, dan peralatan).

Hal-hal yang harus dipertimbangkan sebagai komponen desain adalah:

- 1) Mekanisme runtuh tanah/batuan,
- 2) Klasifikasi massa batuan, dapat menggunakan klasifikasi Terzaghi, RQD/Rock Quality Designation (ASTM D6032-02), Q System (Barton, et al., 1993, dan Grimstad et al., 2002), RMR/Rock Mass Rating (Bieniawski, Z.T., 1989) atau standar klasifikasi lain yang baku digunakan.



Tabel 29 – Jenis pola perkuatan terowongan berdasarkan klasifikasi batuan RMR (Bieniawski, 1989)

Kelompok Massa Batuan	Penggalian	Batu Batuan (diameter 20 mm, fully grouted)	Beton Semprot	Penyangga Baja
I - Sangat Baik RMR: 81 - 100	Seluruh permukaan, tebal 3 m	Tidak diperlukan, kecuali pembedaan setempat (spot bolting)		
II - Bagus RMR: 61 - 80	Seluruh permukaan, tebal 1 - 1,5 m Penyangga penuh 20 m dari permukaan.	Setempat, baut dipasang pada puncak dengan panjang 3 m, jarak 2,5 m dengan jaring kawat (occasional wire mesh)	Jika diperlukan, 50 mm pada bagian puncak	Tidak diperlukan
III - Cukup RMR: 41 - 60	Bagian atas dan bench tebal 1,5 - 3 m pada bagian atas. Penyangga dipasang setelah peledakan.	Baut dipasang secara sistematis dengan panjang 4 m, jarak 1,5 - 2 m pada puncak dan dinding dengan jaring kawat pada bagian puncak.	50 - 100 mm pada bagian puncak dan 30 mm di bagian tepi.	Tidak diperlukan
IV - Buruk RMR: 21 - 40	Bagian atas dan bench tebal 1,0 - 1,5 m pada bagian atas. Pasang penyangga bersamaan dengan penggalian, 10 m dari permukaan.	Baut dipasang secara sistematis dengan panjang 4 - 5 m, jarak 1 - 1,5 m pada puncak dan dinding dengan jaring kawat pada bagian puncak.	100 - 150 mm pada bagian puncak dan 100 mm di bagian tepi.	Tulangan ringan sampai sedang berjarak 1,5 m jika diperlukan.
V - Sangat Buruk RMR: < 20	Banyak arah tebal 0,5 - 1,5 m pada bagian atas. Pasang penyangga bersamaan dengan penggalian. Beton semprot dipasang secepatnya setelah peledakan.	Baut dipasang secara sistematis dengan panjang 5 - 6 m, jarak 1 - 1,5 m pada puncak dan dinding dengan jaring kawat pada bagian puncak. Bolt invert.	150 - 200 mm pada bagian puncak dan 100 mm di bagian tepi dan 50 mm pada permukaan.	Tulangan sedang sampai berat berjarak 0,75 m dengan steel lagging dan foaming jika diperlukan. Close invert

Tabel 30 – Persyaratan minimum pola perkuatan untuk terowongan jalan (JSCE, 2007)

(Terowongan berpenampang besar ar. lebar bagian dalam: sekitar 12,5 m hingga 14,0 m)

Kategori Tanah/Batuan	Pola perkuatan	Panjang lengkung standar (m)	Batu batuan			Penyangga baja			Ketebalan dinding			Metode penggalian	
			Jarak			Headring atas	Bench	Jarak (m)	Ketebalan beton semprot (cm)	Lengkung (arch), dinding samping (side wall) (cm)	Lantai kerja (invert) (cm)		Besarnya deformasi yang ditizinkan (cm)
			Panjang (m)	Arah melengkung (m)	Arah memanjang (m)								
B	B	2,0	4,0	1,5	2,0	-	-	-	10	40	-	0	Metode penggalian seluruh muka dengan bench tambahan, metode penggalian bench, metode stlagma tengah, metode penggalian samping tetap
C I	C I	1,5	4,0	1,2	1,5	-	-	-	15	40	(45)	0	
C II	C II	1,2	4,0	1,2	1,2	H-150	-	1,2	15	40	(45)	0	
D I	D I	1,0	6,0	1,0	1,0	H-150	H-150	1,0	20	40	50	0	
D II	D II	1,0 atau kurang	6	1,0	1,0 atau kurang	H-200	H-200	1,0 atau kurang	25	40	50	10	

Badan Standardisasi Nasional, copy standar ini dibuat untuk Sub Komite Teknis 91-01-02 sebagai jalan dan jembatan, dan tidak untuk dipublikasikan

**SURAT EDARAN MENTERI PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT
NOMOR : 30/SE/M/2015
TANGGAL 23 APRIL 2015**

TENTANG

PEDOMAN METODE PERENCANAAN PENGGALIAN DAN SISTEM PERKUATAN TEROWONGAN JALAN PADA MEDIA CAMPURAN TANAH-BATUAN

KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT

2. STANDAR RUJUKAN DAN KATEGORI TANAH/BATUAN



Penentuan kategori tanah/batuan

$$\text{Faktor kompetensi} = q_u / (\gamma \cdot H) \quad (1)$$

Keterangan:

- q_u adalah kuat tekan bebas batuan/tanah (kN/m²);
 γ adalah berat isi batuan/tanah (kN/m³);
 H adalah tebal lapisan penutup (m).

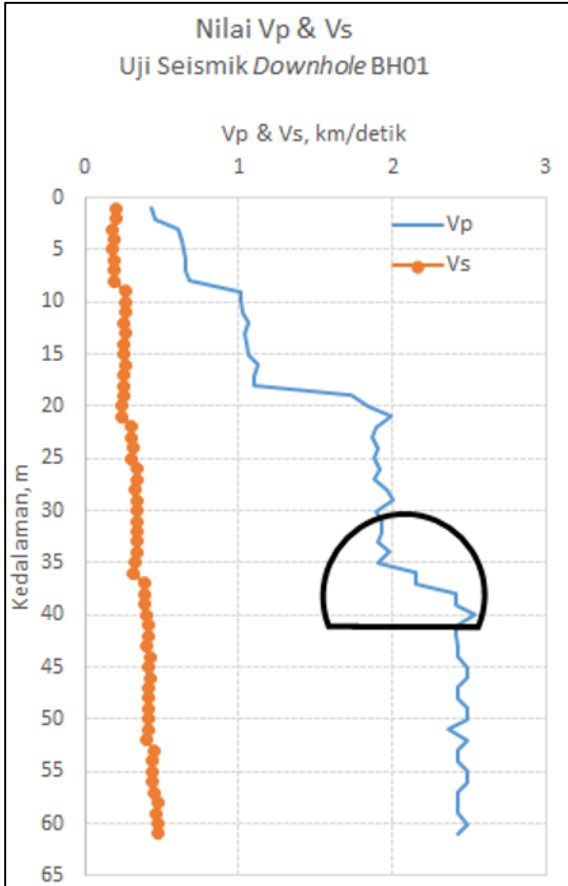
Untuk kondisi batuan dengan rekahan, maka kekuatan batuan-semu (q_u') dihitung menggunakan Persamaan (2) sebagai berikut:

$$q_u' = (V_p / U_p)^2 \cdot q_u \quad (2)$$

Keterangan:

- V_p adalah kecepatan gelombang elastis batuan (gelombang P, km/detik);
 U_p adalah kecepatan gelombang ultrasonik contoh uji (gelombang P, km/detik);
 q_u adalah kuat tekan bebas batuan/tanah (kN/m²).

3. KATEGORI TANAH/BATUAN CISUMDAWU



Kategori tanah/batuan	Jenis batuan	Nama batuan yang mewakili	Kecepatan gelombang elastik (Vp, km/detik)						
			1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	
CI	H Masif	Granit, granodiorit, porfirikuarsa, batu tanduk							
		BatupasirPaleozoikum & Mesozoikum, rijang (cherf)							
	MMasif	Andesit, basal, riolit, dasit							
	L Masif	Batupasiratau konglomerat Tersier							
	MBertapis	Serpentin, tuf, breksi tuf							
		Batu sabak, Serpin Paleozoikum & Mesozoikum							
CII	L Bertapis	Sekis hitam, sekis hijau							
		Batulum purTersier							
	H Masif	Granit, granodiorit, porfirikuarsa, batu tanduk							
		BatupasirPaleozoikum & Mesozoikum, rijang (cherf)							
	MMasif	Andesit, basal, riolit, dasit							
	L Masif	Batupasiratau konglomerat Tersier							
DI		Serpentin, tuf, breksi tuf							
	MBertapis	Batu sabak, Serpin Paleozoikum & Mesozoikum							
	L Bertapis	Sekis hitam, sekis hijau							
		Batulum purTersier							
	H Masif	Granit, granodiorit, porfirikuarsa, batu tanduk							
		BatupasirPaleozoikum & Mesozoikum, rijang (cherf)							
DII	MMasif	Andesit, basal, riolit, dasit							
	L Masif	Batupasiratau konglomerat Tersier							
		Serpentin, tuf, breksi tuf							
	MBertapis	Batu sabak, Serpin Paleozoikum & Mesozoikum							
	L Bertapis	Sekis hitam, sekis hijau							
		Batulum purTersier							



- Kecepatan gelombang elastis lapisan tanah berkisar dari 1,9 hingga 2,5 km/detik
- Nilai faktor kompetensi yang diperoleh adalah 1, sehingga lapisan tanah di lokasi ini termasuk ke dalam kelas DII

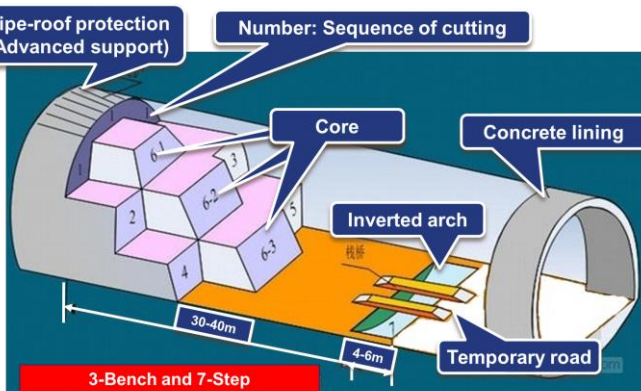
4. METODE PENGALIAN DAN PERKUATAN TEROWONGAN



Metode penggalian	Pembagian muka bidang galian	Kondisi media yang sesuai	Kategori batuan/tanah
Metode penggalian dengan bench	<p>Panjang bench > 5D</p>	<ul style="list-style-type: none"> Media yang cukup stabil, tetapi metode seluruh muka bidang galian sulit untuk dilakukan Metode penggalian cincin (<i>ring cut</i>) diterapkan jika muka bidang galian tidak stabil 	DI dan DII
	<p>D < Panjang bench < 5D</p>	<ul style="list-style-type: none"> Metode penggalian cincin (<i>ring cut</i>) diterapkan jika muka bidang galian tidak stabil 	
	<p>Panjang bench < 5D</p>	<ul style="list-style-type: none"> Jika diperlukan pengendalian konvergensi <i>Squeezing ground</i> yang memerlukan penutupan dini dari penampang penggalian Metode penggalian cincin (<i>ring cut</i>) diterapkan jika muka bidang galian tidak stabil 	
Metode penggalian dengan bench ganda		<ul style="list-style-type: none"> Media yang cukup bagus untuk terowongan dengan penampang yang tinggi dan besar Media yang buruk dan memerlukan bagian kecil <i>heading</i> untuk menstabilkan muka bidang galian 	DII dan E

Pada desain awal, metode penggalian untuk konstruksi terowongan Cisumdawu adalah menggunakan metode penggalian dengan 2 bench.

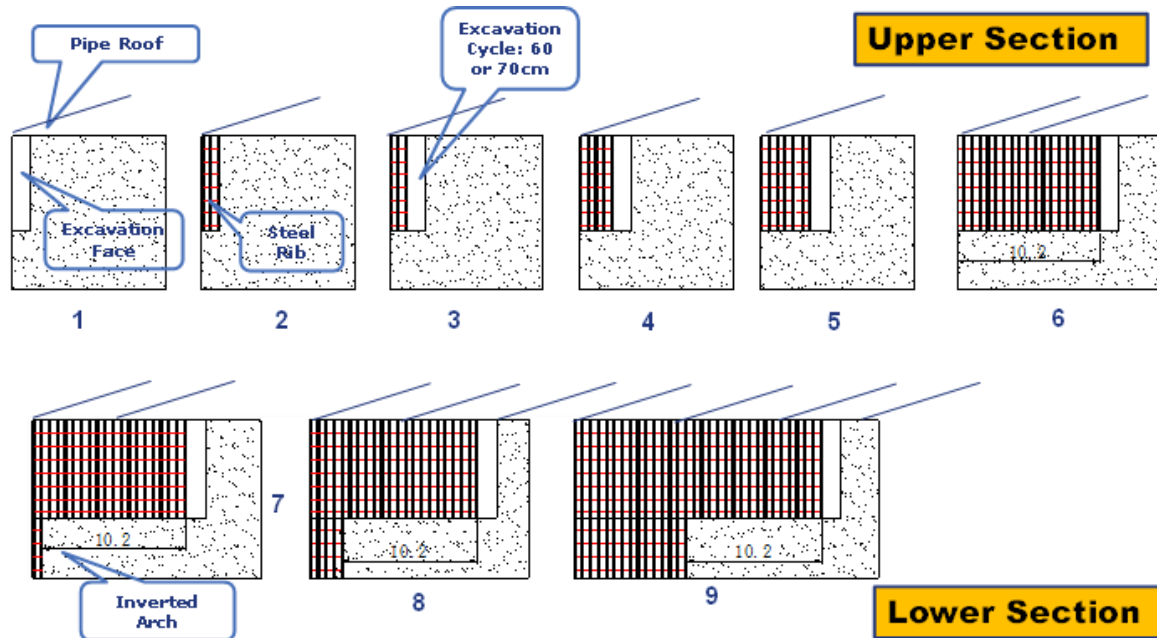
Berdasarkan hasil kajian dan tinjauan yang telah dilakukan oleh pihak kontraktor, diusulkan metode penggalian yang baru dengan metode penggalian cincin (3 bench and 7 step)



Sumber: Satker Tol Cisumdawu, 2017

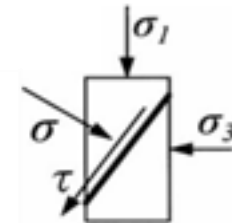
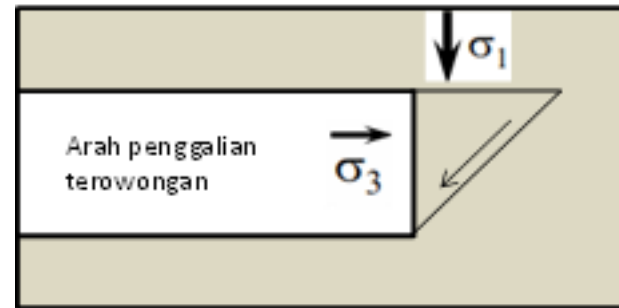
Item	DESAIN AWAL	USULAN KONTRAKTOR
	Metode Penggalian dengan Bench (<i>upper and lower section</i>)	Metode Penggalian Cincin (<i>3 bench and 7 step</i>)
Ilustrasi		
Kondisi geologi terowongan	Hanya sesuai untuk kondisi geologi yang baik	Sesuai untuk kondisi geologi yang baik atau buruk
Tipe terowongan	Terowongan dengan penampang melintang kecil	Terowongan dengan penampang melintang kecil dan besar
Keamanan	Aman untuk kondisi geologi yang bagus	Aman untuk hampir semua kondisi geologi

4. METODE PENGGALIAN DAN PERKUATAN TEROWONGAN

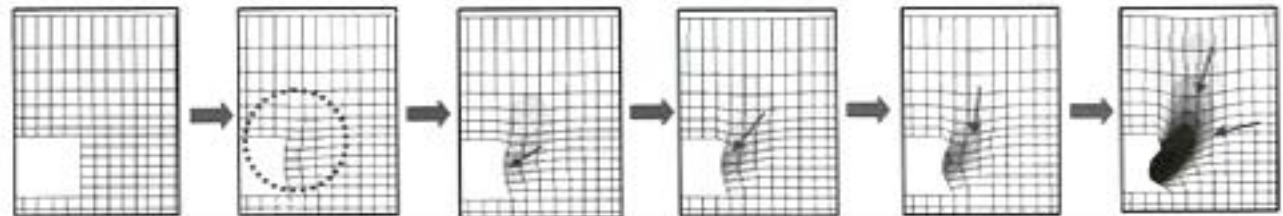


Sumber: Satker Tol Cisumdawu, 2017

Mekanisme tegangan yang bekerja saat terjadi penggalian terowongan



Ilustrasi perilaku deformasi pada penggalian terowongan



4. METODE PENGALIAN DAN PERKUATAN TEROWONGAN



❑ METODE TAMBAHAN (JSCE, 2007)

Metode		Ilustrasi	
Perkuatan Awal (presupport)	Tipe forepoling dengan pengisi	<p>Penampang melintang</p>	<p>Penampang memanjang</p>
	Tipe forepoling dengan injeksi	<p>Penampang Melintang</p>	<p>Penampang Memanjang</p>
	Tipe forepoling dengan pipa baja	<p>Penampang Melintang</p>	<p>Penampang Memanjang</p>

4. METODE PENGALIAN DAN PERKUATAN TEROWONGAN



❑ METODE TAMBAHAN (JSCE, 2007)

Metode		Ilustrasi
	<p>Beton semprot pada muka bidang galian</p>	
<p>Perkuatan Muka Bidang Galian</p>	<p>Pembautan pada muka bidang galian</p>	<p>(a) Baut Muka Bidang Galian Terowongan (<i>Face Bolt</i>)</p> <p>(b) Baut Panjang pada Muka Bidang Galian Terowongan (<i>Long Face Bolt</i>)</p>

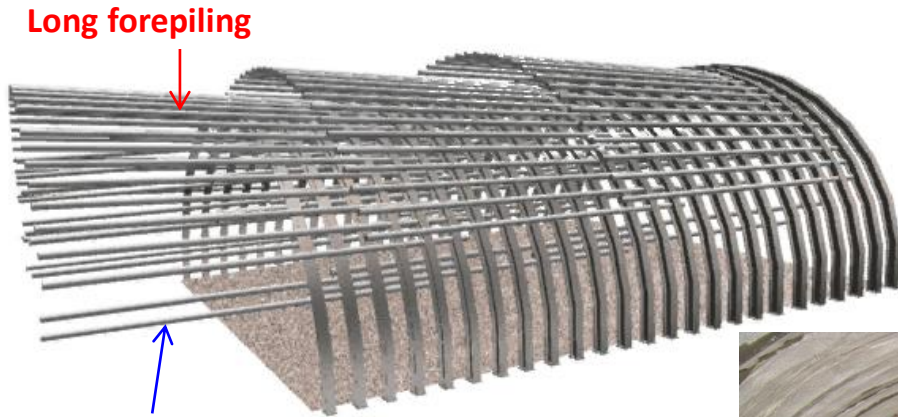
4. METODE PENGGALIAN DAN PERKUATAN TEROWONGAN



❑ Perkuatan awal (*presupport*)

Mencegah terjadinya keruntuhan pada kondisi batuan/tanah yang tidak stabil

- Long forepiling untuk kestabilan atap terowongan
- long facebolts kestabilan muka galian

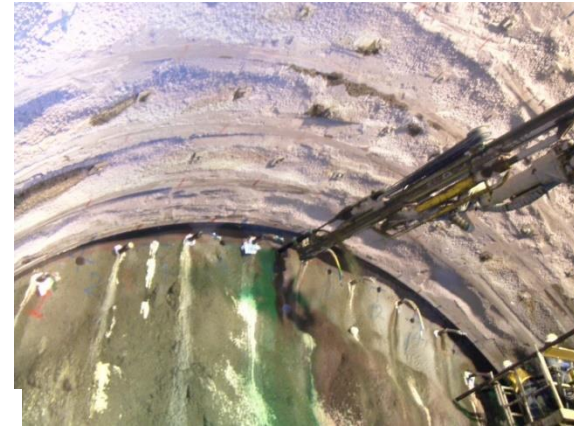


Long facebolts

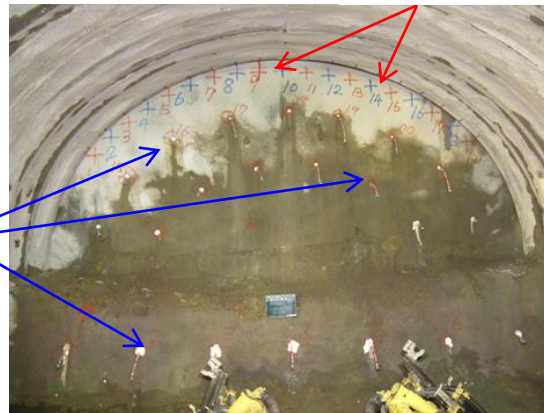
Long facebolts

Long forepiling

Long forepiling



Long facebolts

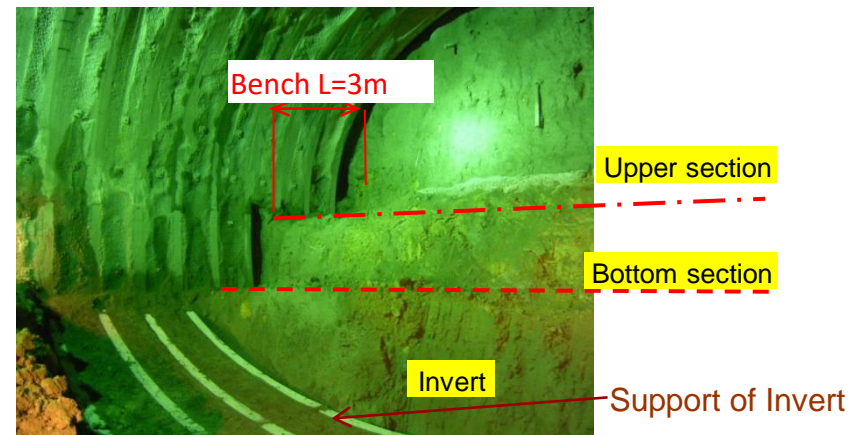
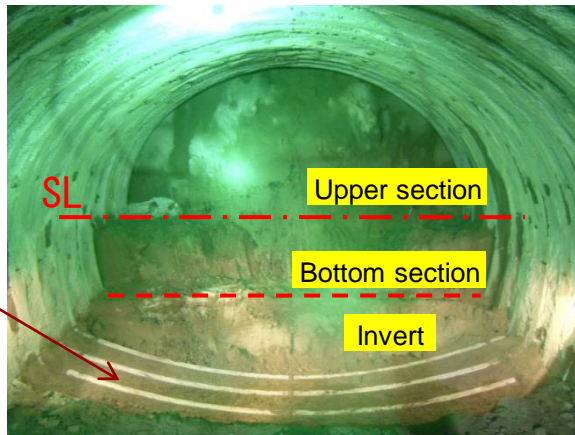
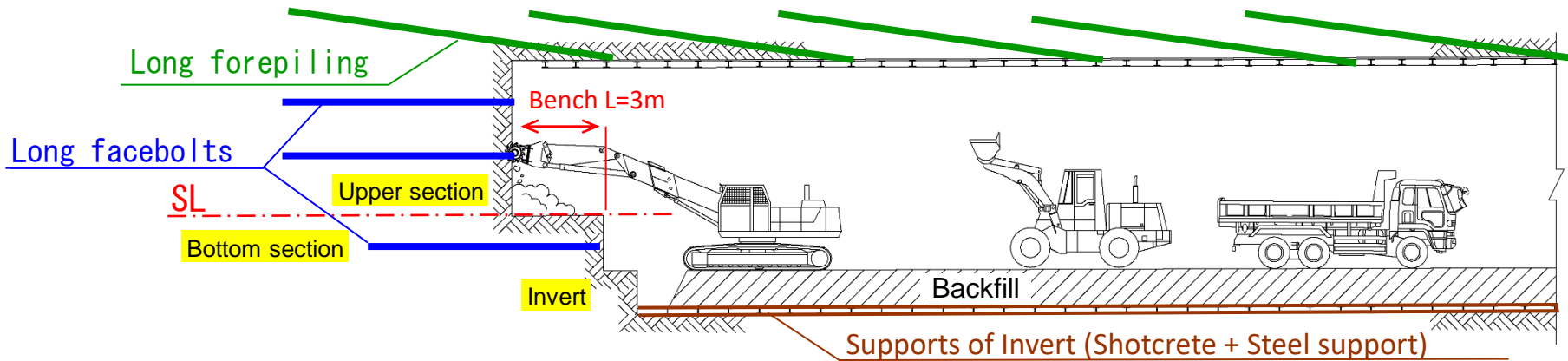


4. METODE PENGALIAN DAN PERKUATAN TEROWONGAN



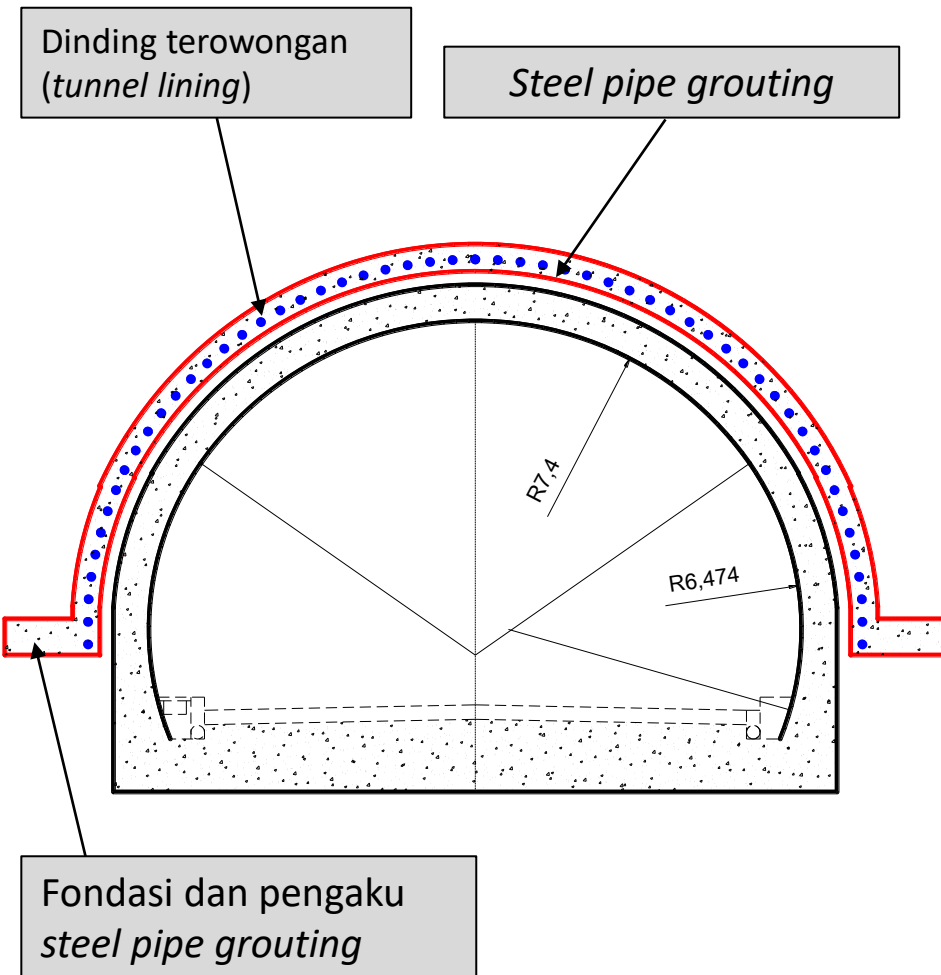
Perkuatan awal (*presupport*)

Mencegah terjadinya penyempitan akibat desakan pada bagian kaki



4. METODE PENGALIAN DAN PERKUATAN TEROWONGAN

Perkuatan pada bagian portal terowongan

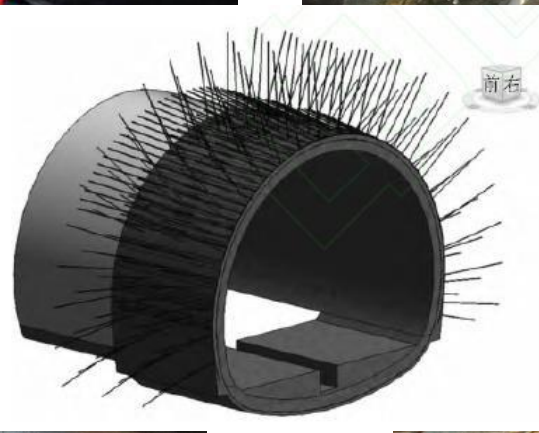
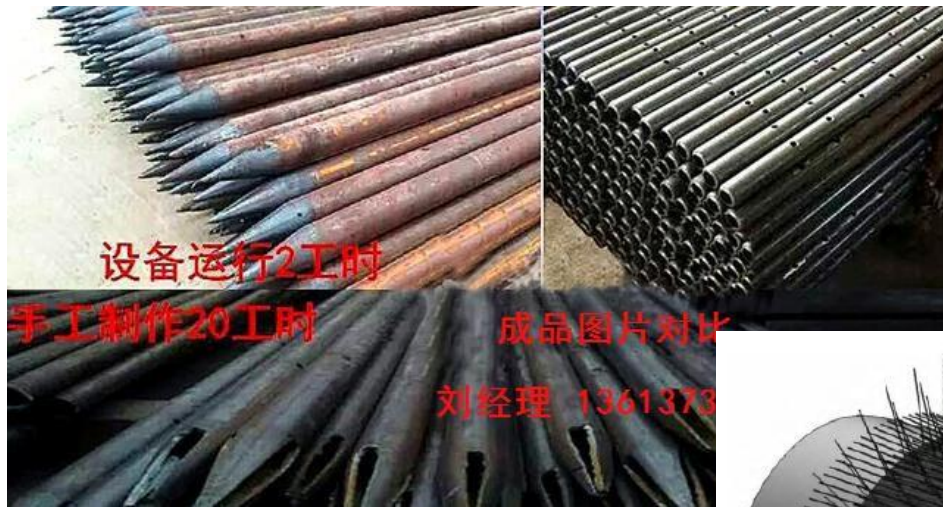


4. METODE PENGALIAN DAN PERKUATAN TEROWONGAN

Steel Pipe grouting

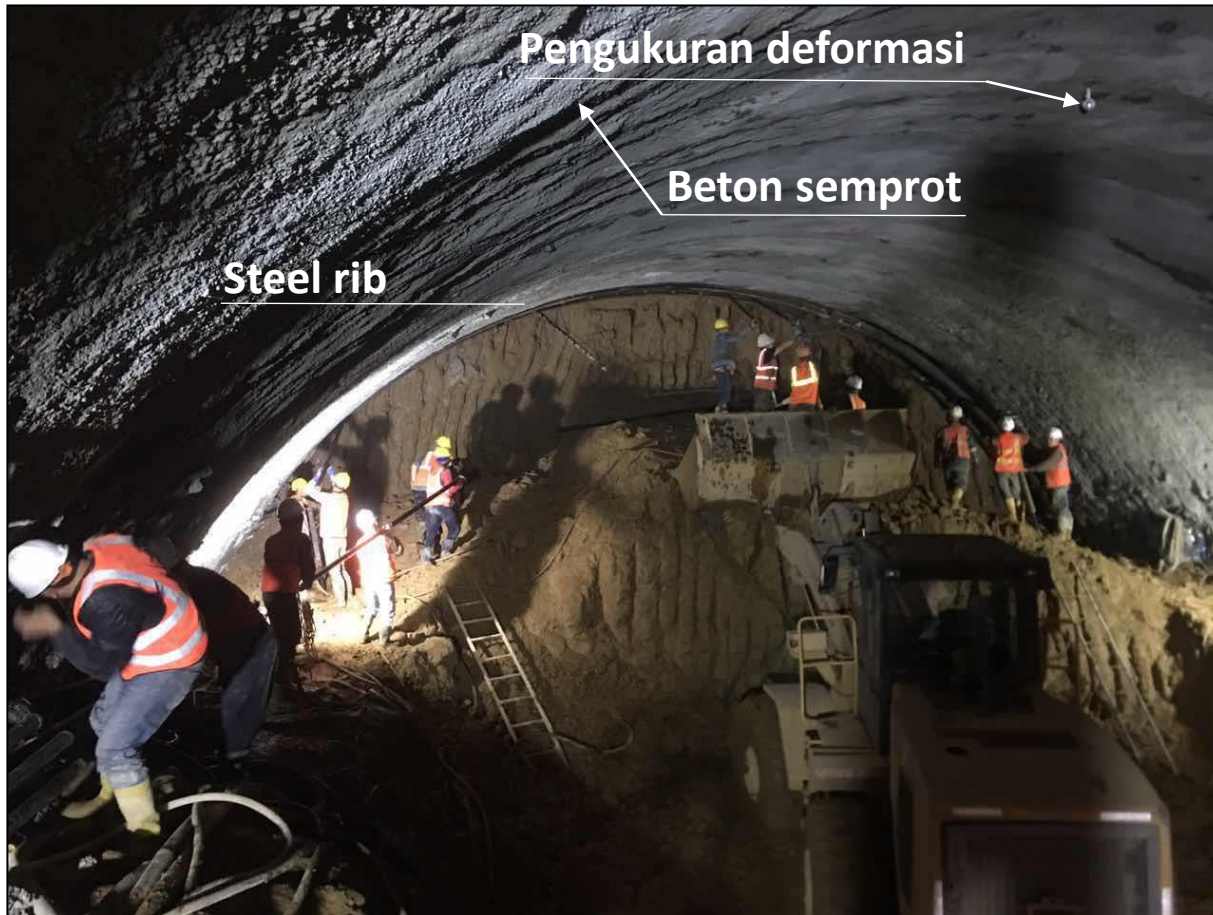


PUSJATAN



4. METODE PENGALIAN DAN PERKUATAN TEROWONGAN

Tahapan penggalian dan perkuatan



4. METODE PENGGALIAN DAN PERKUATAN TEROWONGAN

Tahapan penggalian dan perkuatan



Perkuatan pada bagian atas dan samping terowongan

4. METODE PENGGALIAN DAN PERKUATAN TEROWONGAN

Tahapan penggalian dan penulangan area invert



Inverted Arch Steel rib



Inverted Arch Shotcrete

Pemasangan invert terhubung dengan steel rib samping terowongan perlu dilakukan segera untuk mengurangi deformasi yang terjadi akibat proses penggalian

4. METODE PENGGALIAN DAN PERKUATAN TEROWONGAN

Tahapan penulangan dan pengecoran beton area invert



Penulangan pada bagian invert



Pengecoran beton

Penulangan dan pengecoran beton dilakukan setelah hasil pemantauan menunjukkan deformasi yang terjadi telah berhenti/konstan

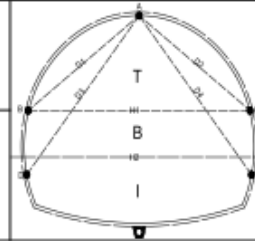
4. METODE PENGALIAN DAN PERKUATAN TEROWONGAN

Pemantauan deformasi terowongan



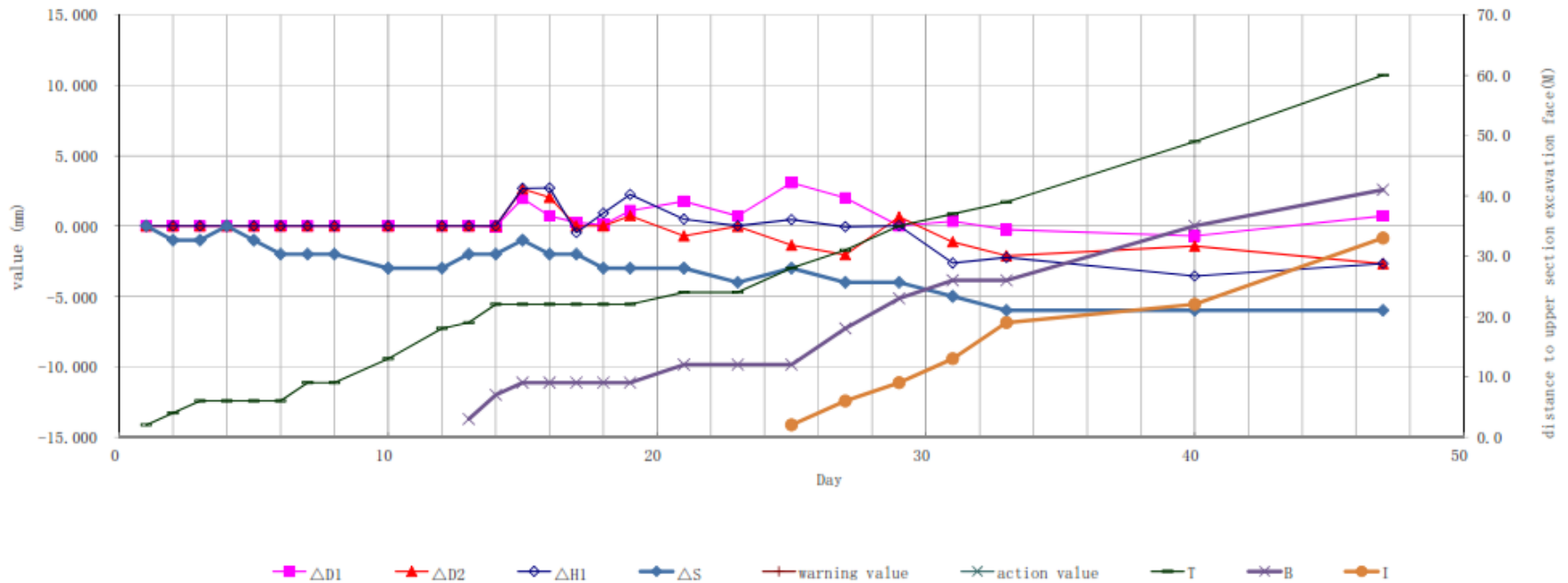
CISUMDAWU TOLL ROAD

Tunnel deformation and roof settlement measure record format



point location: Outlet Left	upper section excavation date: 2017/12/10	upper section install date: 2017/12/10	rock classification: PD-2	deformation range: 15cm
point No.: A B C	step excavation date: ----	step install date: ---	support pattern: PD-2	warning value: 9cm
point STA: 12+913	invert excavation date: ----	Cycle No.:	support spacing: 0.7m	action value: 12cm

convergence graph



4. METODE PENGGALIAN DAN PERKUATAN TEROWONGAN

Tahapan penggalian dan pengecoran area invert



Invert terowongan setelah pengecoran

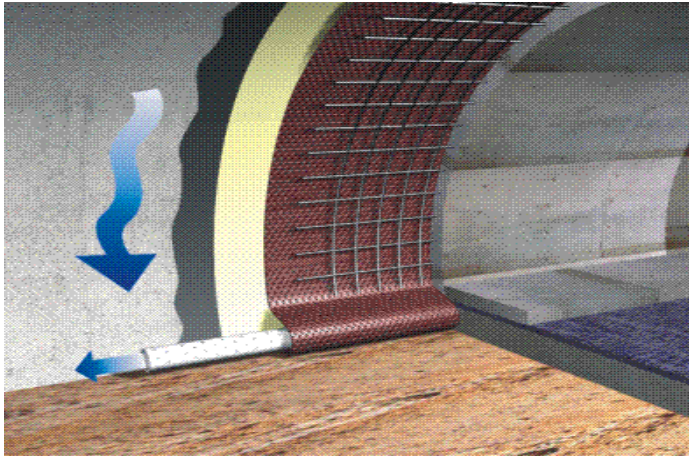


Area invert yang akan digali

Invert terowongan setelah pengecoran

Siklus penggalian dan pekerjaan invert

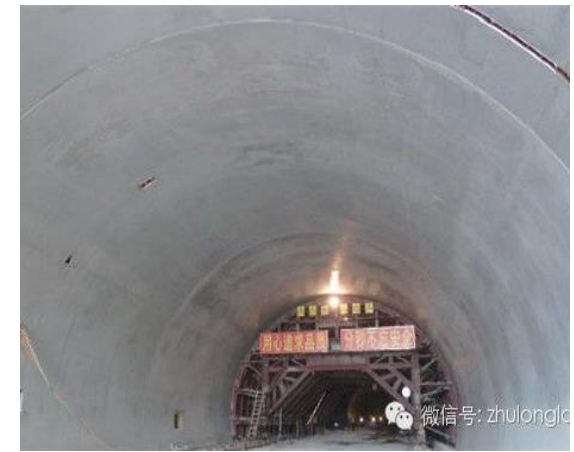
5. WATERPROOFING DAN PEMBUATAN DINDING



Ilustrasi fungsi lapisan kedap air dan drainase



Pemasangan lapisan kedap air



Reinforcement, Formworking & Lining

5. WATERPROOFING DAN PEMBUATAN DINDING



Penyiapan Formwork di bagian portal terowongan

6. PORTAL TEROWONGAN CISUMDAWU



Item	Type	Wall type			Protruding type			
		Gravity/ Semi-gravity type	Wing type	Arch wing type	Half protruding type Parapet type	Protruding type	Split bamboo type Bell mouth type	Inverted split bamboo type Inverted bell mouth type
Shape								
Overview		Gravity type retaining wall placed about 10m forward of the portal position. Recently replaced by wing type and now is seldom adopted.	Planned as an earth retaining wall by cutting the ground. Economical because tunnel length can be shortened. Adopted for most railway tunnels.	In contrast to wing type, the shape mitigates the exertion of pressure by enabling extension of the tunnel length and round form.	Arch section created as a protruding type and an earth retaining wall added to prevent fill collapse. A reasonable structure as a portal.	A form used mainly to improve the landscape using open tunneling and constructing the portal so the inside section united with the tunnel is protruding.	This form eliminates the concrete exposed section of a protruding type portal, creating a bell mouth type portal with a trumpet-like opening.	Portal can be made to appear larger because in contrast to split bamboo type or bell mouth type, the form increases the concrete exposure of the upper section
Ground conditions appropriate for application		<ul style="list-style-type: none"> - Comparatively steep topographic features or where a structure like an earth retaining wall is required - Where rock falls are expected 	<ul style="list-style-type: none"> - Comparatively steep topographic features where ground will be cut and portal constructed - Where an earth retaining wall or enlarged retaining wall will be constructed for an oblique type slope 	<ul style="list-style-type: none"> - Where topographic features are comparatively moderate - Where cut on both sides is comparatively small 	<ul style="list-style-type: none"> - Where there are ridge-like topographic features or where few structures on either side will be connected to the portal 	<ul style="list-style-type: none"> - Where the surrounding topographic features are comparatively moderate - Where an oblique type slope is difficult to correct - Where counterweight fill works are used as slope measures - Where rock falls are expected 	<ul style="list-style-type: none"> - Where the surrounding topographic features are moderate and the area surrounding the portal is open - Where the slope is perpendicular - Where site will include landscaping around the portal 	<ul style="list-style-type: none"> - Where the ground cannot be cut in a steep slope - Where rock falls are frequent
Meteorologic al conditions appropriate for application		- Few problems even when used in snowy areas	- Few problems even when used in snowy areas	- Few problems even when used in snowy areas	- Few problems even when used in snowy areas	- Few problems even when used in snowy areas	- Snow drifting and snow cornices occur easily when used in snowy areas	- Can be expected to prevent snow drifting and formation of snow cornices in snowy areas
Points to note for design and construction		- Might require piles or a large-scale replacement foundation depending on geological conditions	- Integration of the portal into the tunnel is required	<ul style="list-style-type: none"> - Opening tunneling may be required depending on the topography (especially in arch sections) - A certain quantity of fill is required for slope protection 	<ul style="list-style-type: none"> - Open tunneling of several meters in the main tunnel is required, and some earth retaining walls will be required to prevent fill collapse 	<ul style="list-style-type: none"> - Tunnel length will be extended - Protective fill normally required 	<ul style="list-style-type: none"> - Form work and arrangement of reinforcing bars require much effort and cost - Protective fill normally required 	<ul style="list-style-type: none"> - Adequate study of bearing capacity of the foundation required because of relationship to the center of gravity point - Form work and arrangement of reinforcing bars require much effort and cost
Landscape		<ul style="list-style-type: none"> - Because the wall has a large area, brightness must be reduced (for example, by chipping the wall surface) - Because the portal looks massive, it also makes drivers feel oppressed 	- Same as the gravity/semi-gravity type	<ul style="list-style-type: none"> - Exertion of weight and pressure can be mitigated by the arch section curve - Must consider compatibility with the surrounding topographic features 	<ul style="list-style-type: none"> - Exertion of weight and pressure is comparatively small because of a small wall area - Compatible with the topography surrounding the portal 	- Same as half protruding type/parapet type	<ul style="list-style-type: none"> - Bell mouth type with widened entrance is easy to enter. - Portal can be harmonized with surrounding topographic features by landscaping 	<ul style="list-style-type: none"> - Has little impact on traveling vehicles - Highly compatible with the topography surrounding the portal

6. PORTAL TEROWONGAN CISUMDAWU





SEKIAN
&
TERIMA KASIH