



## Seminar Nasional Insinyur Profesional (SNIP)

Alamat Prosiding: snip.eng.unila.ac.id



### DEFORMASI KONSTRUKSI TEROWONGAN PENGELAK PADA FORMASI BOBONARO DI BENDUNGAN MANIKIN

Andika Wiratama Suparto<sup>a</sup>, Dikpride Despa<sup>a\*</sup>, Ratna Widyawati<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Program Studi Program Profesi Insinyur Universitas Lampung, Jalan Sumantri Brojonegoro Nomor 1 Bandar Lampung

#### INFORMASI ARTIKEL

#### ABSTRAK

##### Riwayat artikel:

Diterima 10 September 2023

Masuk 10 Agustus 2023

##### Kata kunci:

Lapisan Bobonaro

Expansive Clay

Monmorilonith

Terowongan Pengelak

Bendungan Manikin

Terowongan Pengelak Bendungan Manikin di Kabupaten Kupang, Provinsi Nusa Tenggara Timur berada pada Lapisan Bobonaro yang terdiri dari material tanah lempung dengan butiran halus (fine material) dengan penyusun utama Silty Clay, yang memberikan karakteristik monmorilonith. Karakteristik tersebut menyebabkan perilaku lapisan tanah tersebut sangat dipengaruhi oleh air dan bisa mengembang (ekspansif) jika terdapat kontak dengan air. Lapisan Lempung tersebut secara karakteristik mekanis memberikan daya dukung terhadap *standup time* yang cukup, nilai Lugeon Test dengan Permeabilitas rendah, dan nilai tahanan SPT yang relatif tinggi, namun karakteristik tersebut berubah menjadi ekspansif jika kontak dengan air. Terowongan Pengelak Bendungan Manikin yang berfungsi sebagai saluran pengelak dan saluran pelimpah dengan Morning Glory berperan Vital untuk mendukung fungsi Bendungan Manikin. Selama masa pelaksanaan selama kurang lebih 2 tahun, telah terjadi deformasi yang diluar perkiraan, sehingga temporary support yang telah dipasang mengalami failure bahkan hingga merubah bentuk galian terowongan. Sehingga diperlukan pemahaman tentang perilaku lapisan Bobonaro dalam pekerjaan terowongan pengelak untuk dapat menyusun solusi yang tepat sehingga pelaksanaan terowongan dapat dilaksanakan dengan aman, dan Bendungan Manikin dapat berfungsi dengan baik.

## 1. Pendahuluan

Metode Pengerjaan Terowongan berkembang sangat pesat hingga saat ini, mulai dari dengan galian manual hingga menggunakan Tunnel Boring Machine. Namun dari setiap metode yang ada, terdapat berbagai macam pertimbangan, salah satunya adalah tingkat optimalisasi dari metode tersebut. Di Proyek Pembangunan Bendungan Manikin Kab. Kupang Prov. Nusa Tenggara Timur, pengelak bendungan menggunakan Jenis Terowongan, yang akan difungsikan juga sebagai saluran pelimpah bendungan menggunakan Morning Glory. Dalam tahapan pelaksanaan pembangunan bendungan, milestone River Diversion merupakan tahap yang krusial karena menjadi tahapan sebelum bisa melakukan pekerjaan Bendungan Utama. Sehingga penyelesaian Terowongan Pengelak menjadi sangat krusial dan harus sesuai dengan Rencana Pekerjaan supaya tidak mengganggu milestone selanjutnya dalam tahapan pembangunan bendungan.

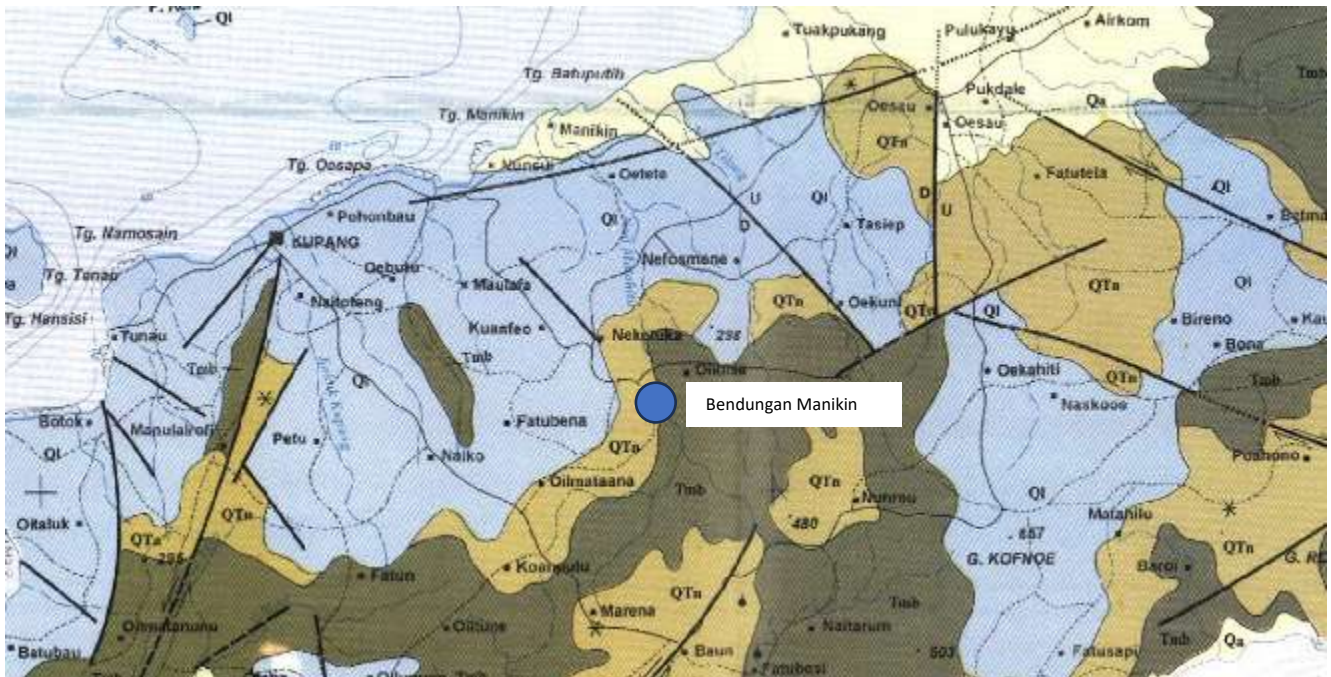
### 1.1. Profil Bendungan Manikin

Bendungan Manikin yang terletak di Kab. Kupang, Kec. Taebenu, pada koordinat 10°12'46"S 123°43'04"E, terletak di sungai Manikin, dengan lokasi yang diapit oleh 2 bukit yang telah ditinjau secara morfologi sungai, sehingga lokasi tersebut dijadikan lokasi Bendungan Manikin yang dapat memiliki tampungan hingga 20,35 Juta m<sup>3</sup>, dan dapat menyediakan air bersih hingga 700 liter/ detik, dan mencakup Irigasi hingga 310 Ha.

### 1.2. Kondisi Geologi Bendungan Manikin

Berdasarkan Peta Regional Geologi lembar Kupang 2205-22305-2306 Bendungan Manikin terletak pada sisi sandaran kanan di Formasi Bobonaro yang merupakan Lapisan Lempung, dan sandaran kiri di Formasi Noele yang merupakan Lapisan Batu Kapur Muda. Terowongan Pengelak berada pada sisi Kanan Bendungan, dengan diameter bersih 5 meter, dan diameter galian 8,4 meter, dan Panjang ±860 meter.

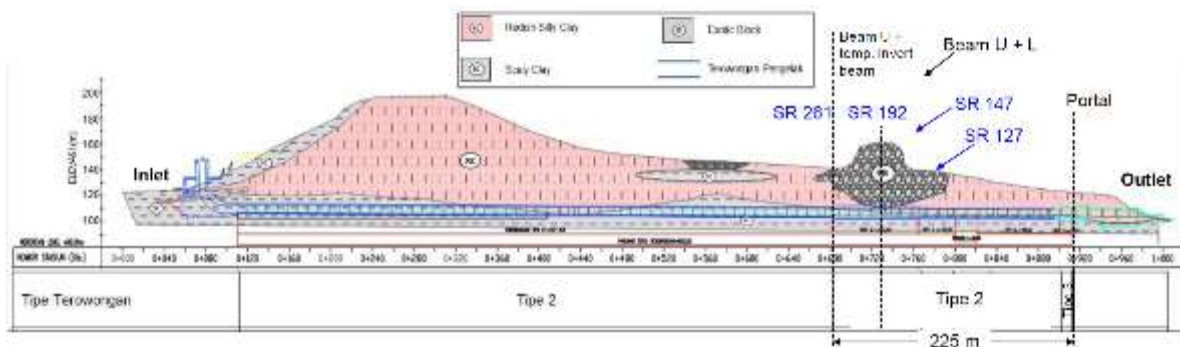
\* despa@eng.unila.ac.id



**Gambar 1.** Mapping Bendungan Manikin pada Peta Regional Geologi Lembar KUPANG 2205-22305-2306. Dengan mapping sesuai dengan Koordinat Bendungan Manikin, dan verifikasi dengan peninjauan singkapan galian dilapangan, Bendungan Manikin berada pada Fomrasi Bobonaro dan Formasi Noele



**Gambar 2.** Legenda Formasi pada Lembar KUPANG 2205-22305-2306



**Gambar 3.** Longsection Lapisan Tanah terowongan pengelak Bendungan Manikin, yang dikerjakan oleh Paket 2, PP-Marfri-Minarta KSO

Lokasi terowongan menembus bukit di Desa Bokong, dengan adanya Exotic Block Batuan yang tepat berada pada STA 0+600 s/d 0+800 dengan jenis batuan Kapur Tua yang ditopang oleh Lapisan Bobonaro – Reddish Silty Clay dan Scaly Clay.

Pengerjaan terowongan pada awalnya dimulai dari sisi Outlet, dengan Galian Terbuka, dan struktur portal dengan struktur Baja Profil dan Beton Bertulang K-350.

## 2. Masa Pelaksanaan Pekerjaan Terowongan Pengelak

### 2.1 Pengerjaan Outlet

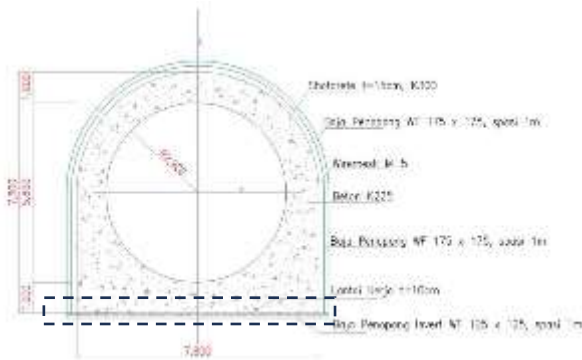
Pekerjaan Galian terowongan dimulai dari sisi Outlet, dengan galian terbuka dari STA 1+000 s/d STA 0+920 pada Februari 2020, yang ditemukan lapisan Reddish Silty Clay. Struktur Portal menggunakan Baja Profil IWF dan beton bertulang K-350. Setelah Galian Terbuka selesai, Outlet



Terowongan mulai dikerjakan pada Oktober 2020. Metode pelaksanaan Galian terowongan dengan menggunakan galian excavator kelas 20ton dengan attachment Twin Header / Drum Cutter. Dalam masa pelaksanaan, standup time dan intct lapisan clay cukup bagus sehingga tidak ditemukan kendala Major hingga progress pengerjaan dapat berlangsung hingga 150m atau pada STA 0+680.

## 2.2 Deformasi Terowongan

Pada 19 Maret 2021, dari monitoring kontraktor pelaksana pekerjaan, ditemukan adanya deformasi tepat dibawah lapisan exotic bloc (SR127-147), sehingga dari hasil diskusi dengan Owner dan konsultan supervisi, dilakukan perkuatan temporary support dengan menggunakan tambahan Invert Beam yang mengunci antar kaki steel ribs.



**Gambar 4** Cross Section terowongan dengan tambahan Invert Beam

Pada 17 Mei 2021 terjadi Kembali kerusakan pada steel ribs samping dan shotcrete, dan pada 13 Juni 2021, terjadi uplift yang menyebabkan invert beam yang dipasang rusak.



**Gambar 5** Dokumentasi kerusakan steel ribs invert beam



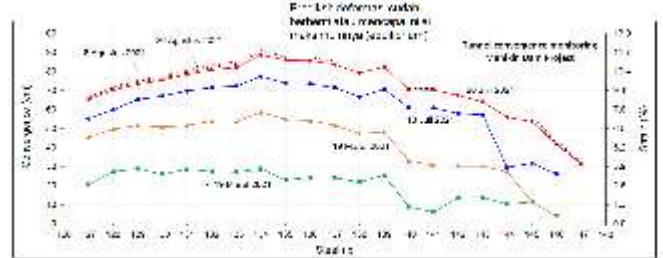
**Gambar 6** Deformasi Steel Ribs Samping

Hasil diskusi Lapangan, untuk menanggulangi deformasi tersebut, struktur temporary support diperkuat menggunakan shotcrete K-300 dengan besi tulangan yang menyambung antar steel ribs.

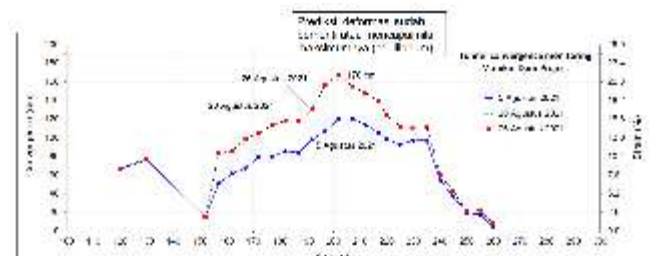


**Gambar 7** Shotcrete K-300 dan besi tulangan menyambung antar steel ribs samping

Deformasi yang terjadi diukur dengan menggunakan extenso meter dan ditinjau progress deformasinya setiap hari dengan hasil sebagai berikut:



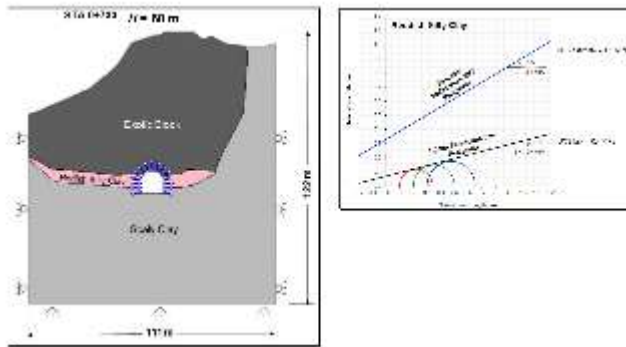
**Gambar 8** Grafik Deformasi Steel Ribs Samping



**Gambar 9** Grafik Deformasi Steel Ribs Invert Beam

Setelah dipantau hingga awal Agustus 2021 ddi lokasi Deformasi Steel Ribs samping dan di Inver Beam, deformasi yang terjadi menunjukkan penurunan nilai, sehingga disimpulkan bahwa Lapisan Caly yang mengalami perilaku ekspansif telah mencapai titik equilibrium / jenuh nya. Dan berdasar hasil pengukuran dan pengamatan, deformasi yang terjadi hingga mencapai 10% dan merusak beberapa bagian Steel Ribs di samping maupun di Invert beam, sehingga beban yang dipikul oleh struktur steel ribs merupakan kombinasi antara tekanan dan puntiran ke arah kanan.

Berdasarkan data deformasi tersebut, dilakukan back calculation dan permodelan beban sehingga diperoleh perkiraan beban yang bekerja pada steel ribs tersebut.



**Gambar 10** Model perhitungan Back Calculation menggunakan Phase 2. Terowongan dimodelkan pada cross section Exotic Block yang ada dilapangan, dan parameter tanah dimasukkan sesuai dengan hasil sampel tanah yang diambil.

**Tabel 1** Back Calculation Deformasi Steel Ribs

TABLE 10.10					TABLE 10.11				
Year	Assets	Liabilities	Equity	Assets	Liabilities	Equity	Assets	Liabilities	Equity
2000	100	50	50	100	50	50	100	50	50
2001	110	55	55	110	55	55	110	55	55
2002	120	60	60	120	60	60	120	60	60
2003	130	65	65	130	65	65	130	65	65
2004	140	70	70	140	70	70	140	70	70
2005	150	75	75	150	75	75	150	75	75
2006	160	80	80	160	80	80	160	80	80
2007	170	85	85	170	85	85	170	85	85
2008	180	90	90	180	90	90	180	90	90
2009	190	95	95	190	95	95	190	95	95
2010	200	100	100	200	100	100	200	100	100
2011	210	105	105	210	105	105	210	105	105
2012	220	110	110	220	110	110	220	110	110
2013	230	115	115	230	115	115	230	115	115
2014	240	120	120	240	120	120	240	120	120
2015	250	125	125	250	125	125	250	125	125
2016	260	130	130	260	130	130	260	130	130
2017	270	135	135	270	135	135	270	135	135
2018	280	140	140	280	140	140	280	140	140
2019	290	145	145	290	145	145	290	145	145
2020	300	150	150	300	150	150	300	150	150

Berdasarkan back calculation tersebut, diperoleh beberapa kombinasi gaya yang bekerja baik untuk uplift, beban lateral, beban horizontal yang menyebabkan adanya torsi kearah kanan terowongan.

### 3. Hasil dan pembahasan

### 3.1 Analisis Back Calculation

Berdasarkan hasil back calculation, bisa ditinjau bahwa beban yang menyebabkan deformasi sedemikian rupa terlalu besar dibandingkan kapasitas steel ribs yang ada. Sehingga berdasarkan gaya tersebut, Steel Ribs yang diperhitungkan memerlukan dimensi yang lebih besar dan pemasangan yang lebih rapat.

**Tabel 2** Hasil Review Steel Ribs untuk menahan gaya Ekspansil Clay pada Lapisan Bobonaro

[illegible]

Adapun alternatif yang perlu dipertimbangkan adalah dengan memberikan ruang kosong pada galian dan temporary support untuk lokasi terjadinya expansif clay sehingga lokasi

tersebut menjadi stress release pada saat Lapisan Clay mengalami perilaku Ekspansif

#### 4. Kesimpulan

Deformasi yang terjadi masih perlu dikaji lebih dalam terkait dengan kadar air yang ada pada lokasi tersebut, sebelum dilakukan penggalian terowongan, saat dilakukan penggalian terowongan, maupun untuk lokasi yang sudah disangga oleh temporary support.

Deformasi yang terjadi pada STA 0+680 s/d STA 0+760 dipengaruhi oleh Exotic Block dan dapat berbeda dengan lokasi yang lain yang belum dilakukan galian terwongon.

Pemasangan Steel Ribs yang lebih kuat ataupun menyediakan ruang kosong untuk Stress Release perlu dikaji lebih lanjut, dan perlu dipertimbangkan terhadap feasibilitas pelaksanaan mengingat pengerjaan terowongan merupakan pekerjaan Confined Space.

## Ucapan terima kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada seluruh tim Proyek Pembangunan Bendungan Manikin, dengan tim Owner dan Konsultan Supervisi, sehingga diharpkan dengan adanya kejadian ini dapat menjadi pelajaran supaya pelaksanaan pekerjaan terowongan pada lokasi lain seperti Formasi Bobonaro dapat dipersiapkan dengan lebih baik lagi.

## Daftar pustaka

- Singh, Bhawani. Goel, R.K. 2011.** Engineering Rock Mass Classification. Edinburgh London New York Oxford Philadelphia St Louis Sydney Toronto
- Terzaghi, K., and Peck, R. B., 1948.** Soil Mechanics in Engineering Practice. New York: John Wiley and Sons.
- Fenton, C. L. & Fenton, M. A., 1940.** The Rock Book. New York: Doubleday.
- Bernhard Maidl, Markus Thewes, Ulrich Maidl. 2013.** Handbook of Tunnel Engineering: Volume I: Structures and Methods, First Edition. New York: John Wiley and Sons.
- Tosun, Hasan. 2022.** Theory and Practice of Tunnel Engineering. London, Intech Open
- Hack, H. R. & Price, D. G., 1995.** Determination of discontinuity friction by rock mass classification. Proceeding of 8th ISRM Congress.
- Yavuz, G. & Atilla, C., 2013.** Evaluation of plate loading tests on some rock formations for assessing the ground bearing capacity. Engineering Geology and the Environment, 72(1), pp. 131-136. <https://doi.org/10.1007/s10064-013-0462-y>
- Central Research Institute of Electric Power Industry (CRIEPI), 1992.** Rock mass classification in Japan. Engineering Geology, Special Issue, Japan Society of Engineering Geology, pp. 18-19.