

Analisis Penyangga Terowongan Pelimpah Bendungan Manikin

Adi Nugraha^{1*)}; Dyah Pratiwi Kusumastuti¹

1. Program Studi S1 Teknik Sipil Fakultas Teknologi Infrastruktur dan Kewilayahan
Institut Teknologi PLN, Menara PLN, Jl. Lingkar Luar Barat, Duri Kosambi, Cengkareng, Jakarta
Barat, DKI Jakarta 11750 Indonesia

^{*)}Email: adi1921025@itpln.ac.id

Received: 17 Februari 2025 | Accepted: 17 Februari 2025 | Published: 28 Februari 2025

ABSTRACT

The spillway is one of the complimentary structures that make up a dam's main structure. A number of technical considerations must be made in the spillway design to avoid collapse, which could have an impact on the dam's overall performance. Manikin Dam's spillway is of the morning glory variety, which typically doubles as a spillway tunnel. Because failures might be caused by insufficient support systems or unfavorable geological conditions, tunnel excavation requires careful design. Using computer-assisted simulations, this study examines the stability of the spillway tunnel excavation while utilizing wire mesh, rock bolts, and shotcrete as tunnel support systems. The safety factor acquired at each stage of excavation is used to assess the stability of the tunnel. Variations in the safety factor during the excavation of the spillway tunnel are evident from the analysis results.

Keywords: *spillway tunnel, failures, support system*

ABSTRAK

Bendungan terdiri dari konstruksi utama dan bangunan pelengkap yang salah satunya adalah bangunan pelimpah. Perancangan bangunan pelimpah memerlukan beberapa aspek teknis agar tidak menyebabkan terjadinya keruntuhan sehingga dapat mempengaruhi kinerja bendungan. Bangunan pelimpah yang digunakan pada Bendungan Manikin merupakan tipe *morning glory*, dimana pada umumnya juga berfungsi sebagai terowongan pelimpah. Pada pekerjaan penggalian terowongan diperlukan perancangan yang sangat baik, karena dapat menyebabkan terjadinya keruntuhan yang disebabkan kurang baiknya sistem penyangga maupun kondisi geologi bantuannya. Pada penelitian ini, dilakukan analisis stabilitas penggalian terowongan pelimpah menggunakan bantuan aplikasi komputer dengan menerapkan *wiremesh*, *rockbolt* dan *shotcrete* sebagai penyangga terowongan. Stabilitas terowongan ditinjau dari angka keamanan yang diperoleh pada setiap fase pekerjaan. Berdasarkan hasil analisis diperoleh perubahan angka keamanan penggalian terowongan pelimpah. Angka keamanan fase penggalian mengalami peningkatan dengan penerapan penyangga meskipun angka keamanan yang diperoleh belum memenuhi syarat keamanan, sehingga penggunaan *wiremesh*, *rockbolt* dan *shotcrete* belum tepat diterapkan pada proses penggalian terowongan batuan dengan RMR dan RQD yang buruk atau memiliki klasifikasi *very poor rock*.

Kata kunci: *terowongan pelimpah, keruntuhan, sistem penyangga*

1. PENDAHULUAN

Salah satu proyek strategis nasional di tahun 2024 adalah menyelesaikan pembangunan 19 bendungan. Pembangunan bendungan tersebut memiliki fungsi yang beragam diantaranya sebagai pengendali banjir, irigasi, penampungan air untuk keperluan rumah tangga maupun industri, bahkan sebagai penghasil energi baru terbarukan melalui PLTA [1][2][3]. Bendungan Manikin, merupakan salah satu proyek strategis nasional yang ditargetkan selesai pada semester kedua tahun 2024. Bendungan Manikin yang berada di Provinsi Nusa Tenggara Timur (NTT) yang memiliki salah satu fungsi sebagai penampungan air hujan, karena pada tahun 2023 NTT berstatus siaga darurat bencana kekeringan [4], dengan prediksi dominasi curah hujan berkategori rendah (0-20 mm/hari) [5] sehingga akan mengalami hari tanpa hujan lebih panjang [6]. Adanya pembangunan Bendungan Manikin diharapkan dapat memberikan solusi krisis air bersih di Nusa Tenggara Timur pada umumnya.

Pada pembangunan bendungan selain tubuh bendungan sebagai konstruksi utamanya juga terdapat bangunan pelengkap diantaranya adalah conduit, intake, bangunan pelimpah, dan bangunan pengeluaran [7][8][9]. Bangunan pelimpah (*spillway*) merupakan struktur hidraulik sekunder yang berfungsi untuk mengalirkan air atau debit banjir ke dalam bendungan maupun kelebihan air menuju hilir sungai [10][11][12]. Bangunan pelimpah dapat mengalami kerusakan akibat keruntuhan atau kelongsoran sehingga mengganggu kinerja bendungan. Aspek-aspek teknis yang memengaruhi perencanaan bangunan pelimpah diantaranya topografi, geologi, morfologi sungai, hidrologi, hidrolika maupun stabilitasnya [13].

Bangunan pelimpah atau *spillway* terbagi menjadi beberapa tipe diantaranya *overflow*, *overfall*, saluran samping, *orifice*, *morning glory*, labirin, sifon, *chute* dan terowongan [14]. Bendungan Manikin menggunakan bangunan pelimpah tipe *morning glory*, yang umumnya digunakan bersamaan dengan pelimpah tipe terowongan. Pada masa konstruksi terowongan, hal yang wajib diperhatikan adalah sistem penyangga yang digunakan, karena sistem penyangga merupakan kekuatan terowongan dalam menerima beban [15]. Keruntuhan terowongan dapat disebabkan sistem penyangga yang kurang optimal [16]. Selain itu ketidakstabilan yang dapat menyebabkan keruntuhan pada terowongan dipengaruhi struktur geologi, tegangan yang cukup tinggi, pelapukan, hidrologi dan hidrogeologi [17]. Berdasarkan uraian sebelumnya, maka pada penelitian ini membahas sistem penyangga pada terowongan pelimpah Bendungan Manikin dengan menggunakan *shotcrete*, *wiremesh*, dan *rockbolt*.

2. METODE/PERANCANGAN PENELITIAN

Tahapan yang dilakukan untuk menyelesaikan penelitian ini adalah:

A. Tahap Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam analisis terowongan pelimpah Bendungan Manikin diantaranya adalah data hasil pengeboran inti fondasi terowongan pelimpah yang berada pada titik M17-3, hasil penyelidikan tanah dan batuan, *rock mass rating* (RMR), *rock quality designation* (RQD), dan spesifikasi penyangga terowongan yang direncanakan. Keseluruhan data yang digunakan merupakan data sekunder, dimana data tersebut didapatkan dari pihak-pihak yang terlibat dalam pembangunan Bendungan Manikin.

B. Tahap Analisis Kestabilan Terowongan dengan Aplikasi

Setelah seluruh parameter yang dibutuhkan dalam analisis dikumpulkan, selanjutnya lakukan pemilahan untuk menentukan parameter yang digunakan dalam analisis, khususnya sebagai masukan dalam aplikasi yang digunakan. Untuk spesifikasi sistem

penyangga terdapat parameter yang perlu diolah sendiri yaitu nilai kekakuan normal dan kekakuan lentur dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$EA = E \times A \tag{1}$$

$$EI = E \times I \tag{2}$$

Dimana:

E = modulus elastisitas material (bahan)

A = luas penampang

I = momen inersia

Analisis kestabilan sistem penyangga terowongan pelimpah dilakukan dengan menggunakan aplikasi komputer, yaitu aplikasi Plaxis 2D. Sebelum analisis dilakukan, langkah pertama yang dilakukan adalah memodelkan terowongan pelimpah, masukan parameter tanah dan batuan, masukan parameter penyangga, fase keruntuhan penggalian terowongan bagian atas, fase pemasangan penyangga bagian atas, fase keruntuhan penggalian terowongan bagian bawah, fase pemasangan penyangga bagian bawah. Hasil analisis yang dilakukan dengan bantuan aplikasi yaitu total pergeseran dan angka keamanan dari proses penggalian sampai pemasangan penyangga.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data

Data yang digunakan dalam analisis kestabilan terowongan pelimpah terdiri dari data geologi, geometri terowongan, beban puncak (tegangan *overburden*) dan informasi massa batuan. Data geologi, geometri terowongan, beban puncak dan informasi massa batuan yang digunakan dalam perancangan yaitu:

Tabel 1. Informasi Karakteristik Batuan

Karakteristik	Lempung Kemerahan	Lempung Bersisik	Eksotik Blok
Berat volume (gr/cm ³)	1,969	2,064	2,528
Berat volume basah (gr/cm ³)	1,577	1,876	2,055
Sudut geser dalam (°)	19,43	19,47	56,37
Kohesi (kg/cm ²)	0,499	0,634	34,199

Sumber: data proyek

Tabel 2. Geometri Terowongan

Bagian	Keterangan
Diameter galian (m)	8,32
Diameter terowongan (m)	7,80
Elevasi inlet (m)	+ 147,50
Elevasi outlet (m)	+ 147,50
Panjang terowongan (m)	837
Material penutup dinding terowongan	Beton bertulang
Penampang terowongan	Tapal kuda

Sumber: data proyek

Tabel 3. Beban Puncak (*Overburden*)

Jenis Batuan	Berat Volume (ton/m ³)	Beban Puncak (ton/m ²)
Lempung kemerahan	1,969	34,55
Lempung bersisik	2,064	35,99
Eksotik <i>block</i>	2,528	45,04

Sumber: data proyek

Tabel 4. Informasi Massa Batuan

Parameter	Nilai			
	M 17-3 (33-38 m)	M 17-4 (41-49 m)	M 18-7 (34-42 m)	M 18-8 (51-59 m)
Kuat tekan uniaxial (kg/cm ²)	8,509	8,959	7,78	9,315
RQD (%)	10	10	10	10
Spasi diskontinuitas (mm)	< 200	< 200	< 200	< 200
RMR	V	V	IV	IV

Sumber: data proyek

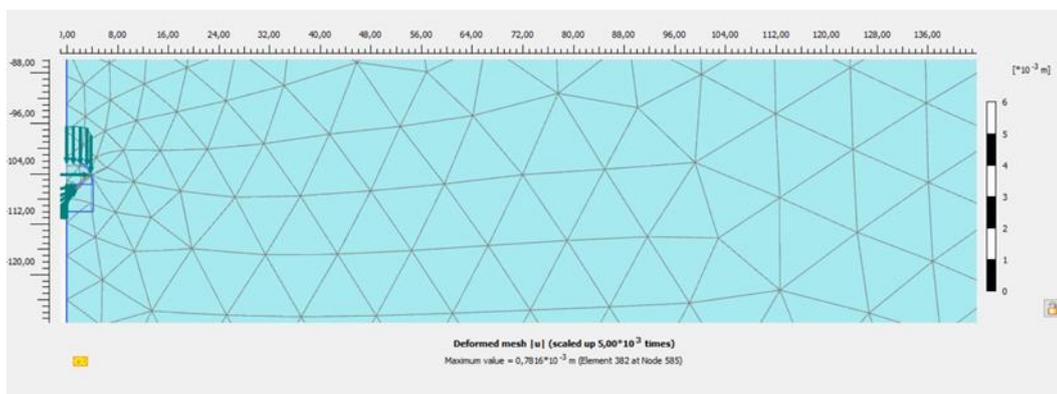
Berdasarkan klasifikasi geomekanik RMR Bieniawski (1974), batuan pada bagian portal inlet dan outlet memiliki rating 5 dengan golong kelas V yang berarti *very poor rock*. Untuk jenis batuan dengan klasifikasi *very poor rock*, diperlukan perkuatan yang terdiri dari *shotcrete*, *wiremesh*, *steel support*, dan *rockbolt*. Pada analisis ini direncanakan menggunakan penyangga *shotcrete*, *wiremesh*, dan *rockbolt* dengan data teknis sebagai berikut:

Tabel 5. Parameter Material Penyangga Terowongan Pelimpah

Tipe Penyangga	EA (kN/m)	EI (kN/m)
<i>Wiremesh</i>	40.192	0,643072
<i>Rockbolt</i>	62.800	1,57
<i>Shotcrete</i>	2.643.750	123.925,7813

3.2 Hasil

Setelah seluruh data yang dibutuhkan dalam analisis terkumpul, langkah selanjutnya yang dilakukan adalah membuat pemodelan terowongan sesuai dengan geometri yang direncanakan. Pemodelan terowongan dibuat dengan bantuan aplikasi sesuai dengan kondisi di lapangan, yaitu terowongan pelimpah berada pada kedalaman 37 meter dengan diameter terowongan sebesar 8,32 m dan terowongan berada pada lapisan batuan dengan jenis lempung bersisik.



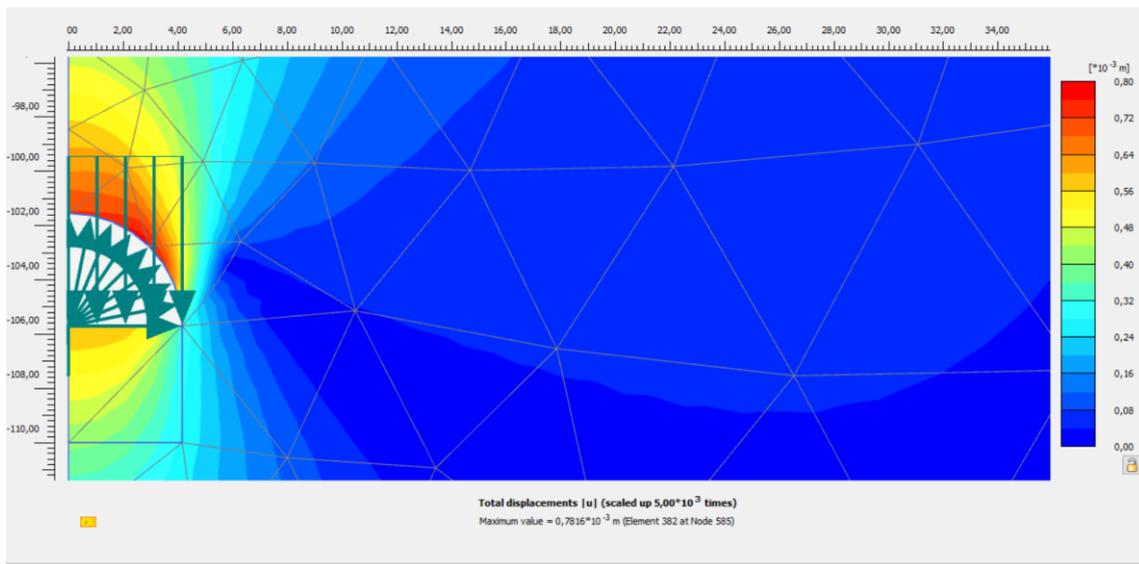
Gambar 1. Pemodelan *inlet* terowongan pelimpah

Pemodelan terowongan dilakukan tanpa proses penggalian, hal tersebut dilakukan karena proses penggalian termasuk dalam analisis kestabilan terowongan. Setelah model terowongan dibuat, dilakukan analisis kestabilan terowongan tanpa penyangga dan analisis kestabilan terowongan dengan penyangga. Analisis kestabilan terowongan dilakukan dalam beberapa phase yaitu:

- a. Phase penggalian bagian atas terowongan
- b. Phase penerapan penyangga bagian atas terowongan
- c. Phase penggalian bagian bawah terowongan
- d. Phase penerapan penyangga bagian bawah terowongan

3.2.1 Analisis Terowongan Pelimpah Tanpa Penyangga

Hasil analisis terowongan pelimpah tanpa penyangga hanya dapat dilakukan sampai dengan proses penggalian bagian atas terowongan saja, hal tersebut dikarenakan pada phase penggalian bagian bawah terowongan terjadi keruntuhan seperti yang terlihat pada gambar 2. Nilai *total displacement* yang didapatkan dari hasil analisis untuk terowongan pelimpah tanpa penyangga sebesar $0,7816 \times 10^{-3}$ m dengan nilai angka keamanan 0 yang berarti terjadi keruntuhan pada terowongan pelimpah pada saat penggalian bagian atas.



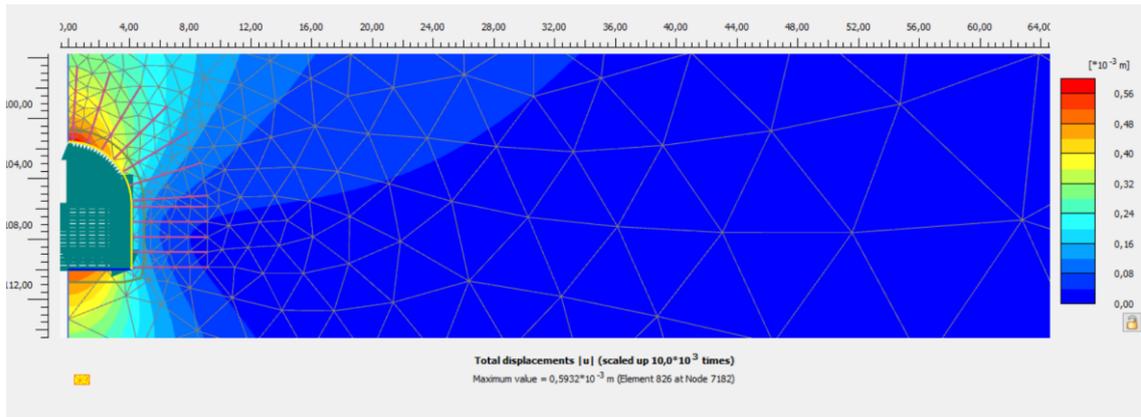
Gambar 2. *Total displacement* bagian atas terowongan tanpa penyangga

3.2.2 Analisis Terowongan Pelimpah Dengan Penyangga

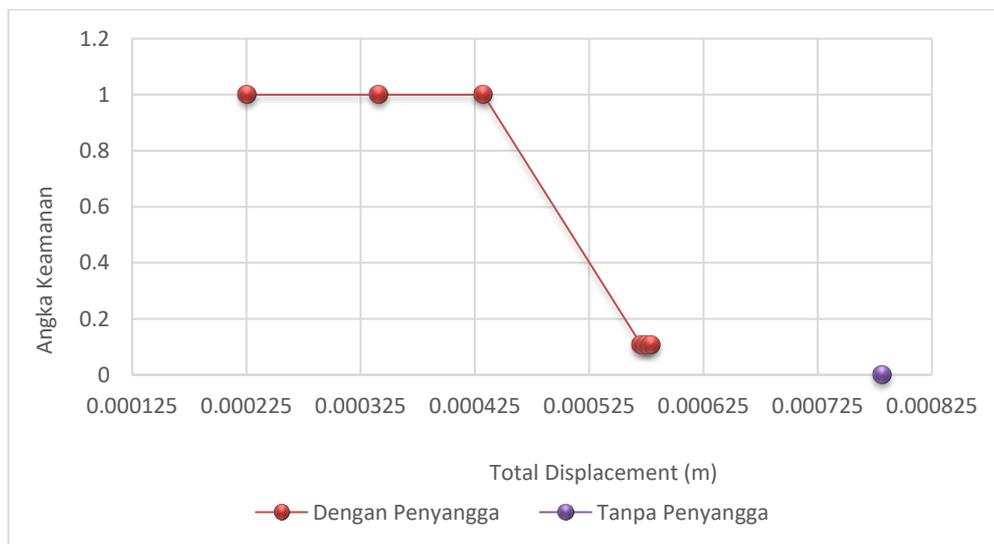
Hasil analisis yang didapatkan dengan bantuan aplikasi pada terowongan pelimpah dengan penyangga berbeda dengan terowongan tanpa penyangga. Analisis pada terowongan dengan penyangga dapat dilakukan sampai dengan proses penggalian bagian bawah terowongan, meskipun angka keamanan dari kestabilan terowongan belum memenuhi. *Total displacement* yang didapatkan pada terowongan pelimpah dengan penyangga sebesar $0,5932 \times 10^{-3}$ m dan angka keamanan sebesar 0,1070.

Fase analisis kestabilan terowongan penyangga dilakukan bertahap mulai dari penggalian bagian atas terowongan, penerapan penyangga dengan *rockbolt* dan *shotcrete* bagian atas terowongan, penggalian bagian bawah terowongan, dan penerapan *rockbolt* dan *shotcrete* bagian

bawah terowongan. Pada setiap fase yang dilakukan dalam analisis didapatkan nilai angka keamanan mulai dari 1 dan berangsur mengalami penurunan angka keamanan menjadi 0,1070 yaitu pada fase penggalian sampai dengan penerapan penyangga pada bagian bawah terowongan. Perubahan angka keamanan yang terjadi akibat proses penggalian berbanding terbalik dengan besarnya *total displacement*. *Total displacement* yang terjadi saat penggalian bagian atas terowongan dengan menggunakan penyangga sebesar $0,2258 \times 10^{-3}$ m yang berangsur meningkat seiring dengan fase pekerjaan yang dilakukan, dimana *total displacement* terbesar terjadi pada penerapan *shotcrete* sebesar $0,5797 \times 10^{-3}$ m.



Gambar 3. *Total displacement* seluruh bagian terowongan dengan penyangga



Gambar 4. Perbandingan *total displacement* dengan angka keamanan pada saat proses penggalian terowongan

Berdasarkan gambar 4 terlihat bahwa akibat proses penggalian tanpa sistem penyangga *total displacement* yang terjadi cukup besar dibandingkan *total displacement* dengan penyangga yaitu $0,7816 \times 10^{-3}$ m dengan angka keamanan 0. *Total displacement* penggalian dengan menggunakan penyangga yang dihasilkan pada saat awal penggalian terowongan bagian atas berangsur-angsur mengalami peningkatan sampai dengan proses akhir penggalian dengan penerapan *shotcrete*. Hal tersebut seiring dengan semakin berkurangnya nilai angka keamanan, namun tidak sejalan dengan penerapan penyangga yang digunakan. Pada akhir proses atau fase, penerapan *rockbolt* dan *shotcrete*

telah dilakukan di bagian atas dan bawah terowongan, namun angka keamanan yang didapatkan mengalami penurunan dibandingkan fase awal penggalian atau penggalian bagian atas terowongan.

Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor yakni nilai *Rock Mass Rating* (RMR) dan *Rock Quality Design* (RQD) yang buruk, serta tekanan *overburden* yang besar terjadi pada terowongan.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan dengan menggunakan bantuan aplikasi, dapat disimpulkan bahwa angka keamanan penggalian terowongan pelimpah mengalami peningkatan dengan penerapan penyangga meskipun angka keamanan yang diperoleh belum memenuhi syarat keamanan. Penurunan angka keamanan seiring dengan peningkatan *total displacement* yang terjadi pada setiap fase penggalian dan penerapan penyangga pada terowongan pelimpah, mulai dari penggalian bagian atas terowongan sampai dengan penerapan *shotcrete* dan *rockbolt* pada bagian bawah terowongan. Namun karena RMR dan RQD pada batuan yang terletak di terowongan pelimpah termasuk dalam klasifikasi *very poor rock* menurut Bieniawski (1974), sehingga penyangga *rockbolt* dan *shotcrete* belum mampu mengatasi keruntuhan batuan. Untuk analisis selanjutnya dapat diterapkan kombinasi penyangga menggunakan *steel rib* dan *invert beam* dengan metode penggalian *bench cut method*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Yuliasuti, A. Tita D, C. Ridho, M. Dhandy, and A. I. Mutiasari, "Pengembangan Wisata Alam Melalui Budidaya Ikan Nila (*Oreochromis Niloticus*) Bagi Keberlangsungan Ekosistem di Bendungan Irobayan Desa Gagaksipat, Kabupaten Boyolali, Jawa Tengah," in *Seminar Nasional Hasil Riset dan Pengabdian kepada Masyarakat*, 2022, vol. 2, no. 2, pp. 105–110. [Online]. Available: <https://jurnal.usahidsolo.ac.id/>
- [2] M. Lutfi and D. Sodiq, "Studi Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Air Di Bendungan Cipanas Sumedang," *J. Tek. Energi*, vol. 11, no. 2, pp. 18–23, 2022, doi: 10.35313/energi.v11i2.3534.
- [3] A. A. Wibowo, S. Sangkawati, and H. Nugroho, "Kajian Kapasitas Pelimpah dan Terowongan Konduit Bendungan Sawangan dalam Mereduksi Debit Puncak Banjir," *Al Qalam J. Ilm. Keagamaan dan Kemasyarakatan*, vol. 18, no. 3, p. 2084, 2024, doi: 10.35931/aq.v18i3.3313.
- [4] M. I. Bendi and Y. R. Kaesmetan, "Informasi Peringatan Dini Potensi Kekeringan Meteorologis Provinsi Nusa Tenggara Timur," *J. Ilmu Komput. dan Sist. Inf.*, vol. 7, no. 1, pp. 46–54, 2024, doi: 10.55338/jikoms.v7i1.2346.
- [5] W. J. Pattipeilohy, D. S. Beis, and A. S. Hadi, "Kajian Identifikasi Penurunan Tren Curah Hujan, CDD dan CWD di Kota Kupang, Nusa Tenggara Timur," *Bul. GAW Bariri*, vol. 3, no. 1, pp. 8–16, 2022, doi: 10.31172/bgb.v3i1.62.
- [6] D. S. Krisnayanti, M. S. Pasa, and R. Cornelis, "Analisis Kekeringan Meteorologi Dengan Menggunakan Metode Standardized Precipitation Index Di Kupang – Nusa Tenggara Timur," *J. Sumber Daya Air*, vol. 19, no. 1, pp. 1–12, 2023, doi: 10.32679/jsda.v19i1.793.
- [7] C. Soetijono and Sunarto, "Optimasi Desain Bangunan Pelengkap Bendungan dengan Metoda Simpson Luas Penampang (Simpson's Rule)," no. 2, pp. 30–42, 2005.
- [8] M. L. Maulana, E. Noerhayati, and A. Rachmawati, "Studi Perencanaan Bangunan Pelimpah (Spillway) Pada Bendungan Tugu Kabupaten Trenggalek," *J. Rekayasa*, vol. 6, no. 2, pp. 155–164, 2018.
- [9] T. Mandani, R. R. Hadiani, and C. Ikhsan, "Penentuan Prioritas Penanganan Komponen Bendungan Cengklik Di Kabupaten Boyolali Menggunakan Analytic Network Process," *J. Ris. Rekayasa Sipil*, vol. 3, no. 2, p. 74, 2020, doi: 10.20961/jrrs.v3i2.40958.
- [10] W. H. Kuncoro, E. P. Wahono, A. Zakaria, and D. I. Kusumastuti, "Analisis Kedalaman Gerusan Lokal (Local Scouring) di Hilir Bangunan Pelimpah (Stepped Modified Spillway) dengan Model Fisik 2D Wahyu," *J. Rekayasa Sipil dan Desain*, vol. 9, no. 3, pp. 623–634,

- 2021.
- [11] S. Dilaga, Y. Hardiansyah, F. Hamdi, and A. B. Tongeng, "Analisis Distribusi Debit Aliran pada Pelimpah dengan Variasi Model Bangunan Peluncur," *Local Eng.*, vol. 1, no. 1, pp. 39–44, 2023, doi: 10.59810/lejlace.v1i1.31.
- [12] A. K. Naafi, A. C. Harifa, and A. Suhardono, "PERENCANAAN ALTERNATIF DESAIN BANGUNAN PELIMPAH TIPE LUNCUR (CHUTE SPILLWAY) BENDUNGAN GINTUNG KABUPATEN PURBALINGGA," *J. Online Skripsi Manajemen Rekayasa Konstr. Polinema*, vol. 5, no. 1, pp. 166–172, 2024.
- [13] D. E. Victory, Siswanto, and Trimajon, "Kajian Lebar Bangunan Pelimpah Tipe Lengkung Terhadap Elevasi Muka Banjir (Studi Kasus Waduk Tenayan)," *J. Online Mhs. Bid. Tek. dan Sains*, vol. 3, no. 2, pp. 1–8, 2016.
- [14] H. W. Coleman, C. Y. Wei, and J. E. Lindell, "Chapter 17 Hydraulic Design of Spillways," *Library (Lond.)*, pp. 1–54, 2004, [Online]. Available: www.digitalengineeringlibrary.com
- [15] A. Apriyono and D. Sumiyanto, "Tinjauan Kekuatan Sistem Penyangga Terowongan dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga A Review of Tunnel Supporting Systems Using Finite Element Method," *Din. Rekayasa*, vol. 6, no. 1, pp. 33–38, 2010.
- [16] Mulyadi, A. Rochim, and Pratikso, "Evaluasi Geologi Teknik Pada Metode Penggalian Dan Sistem Penyangga Konstruksi Terowongan Pengelak Bendungan Jragung , Semarang," *Innovative*, vol. 4, no. 1, pp. 3636–3651, 2024.
- [17] E. Hoek, P. K. Kaiser, and W. F. Bawden, *Support of Underground Excavations in Hard Rock*. 1997.