

PERBANDINGAN METODE MEKANIS DENGAN METODE *BLASTING* PADA PEMBANGUNAN TEROWONGAN BENDUNGAN RUKOH

Yunita Mauliana^{1*} dan Yudha Hanjaya¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Universitas Sang Bumi Ruwa Jurai, Jl. Imam Bonjol No. 468 Langkapura, Bandar
Lampung, Indonesia

*yunita.mauliana@gmail.com

Masuk: 11-09-2025, revisi: 13-10-2025, diterima untuk diterbitkan: 29-10-2025

ABSTRACT

The construction of tunnels is a vital component of dam infrastructure projects, including the Rukoh Dam located in Pidie Regency, Nangroe Aceh Darussalam. This research seeks to compare two excavation methods, specifically the mechanical method (breaker) and the blasting method, analyzed concerning time, cost, labor efficiency, and the environmental effects produced. This study employed a mixed method research approach, integrating qualitative and quantitative methods using techniques such as field observation, interviews, documentation, and literature reviews. The analysis results indicate that the blasting method needs just 129 days (33.33%) of the overall work, while the mechanical method takes 194 days (50.12%). This implies that the work process is quicker and more efficient regarding time. The overall expense of labor utilizing the blasting method is Rp. 10,947,465,448 (62%), more efficient than the mechanical method of Rp. 14,585,533,097 (82.6%). Regarding labor, the blasting method needs 56 employees, particularly certified professionals, while the mechanical method requires 50 employees. The environmental effects of the blasting method produce considerable vibrations and require strict supervision to avoid affecting nearby structures and increasing air pollution, while the mechanical method produces low and local vibrations, making it safer for the environment and comparatively more environmentally friendly with controllable pollution.

Keywords: Blasting; Breaker; Tunnel; Rukoh Dam

ABSTRAK

Pembangunan terowongan merupakan bagian vital dalam proyek infrastruktur bendungan, salah satunya pada Bendungan Rukoh di Kabupaten Pidie, Nangroe Aceh Darusalam. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan dua metode penggalian yaitu metode mekanis (*breaker*) dan metode peledakan (*blasting*) dinilai dari segi efisiensi waktu, biaya dan tenaga kerja, serta dampak lingkungan yang ditimbulkan. Metode penelitian *mix method* digunakan dalam penelitian ini dengan menggabungkan metode kualitatif dan kuantitatif melalui teknik observasi lapangan, wawancara, dokumentasi, dan studi pustaka. Hasil analisis menunjukkan bahwa metode *blasting* hanya membutuhkan waktu 129 hari (33,33%) dari total seluruh pekerjaan dibandingkan metode mekanis 194 hari (50,12%). Hal ini berarti pengerjaan kegiatan lebih cepat dan efektif secara waktu. Biaya total pekerjaan dengan menggunakan metode *blasting* sebesar Rp.10.947.465.448 (62%) lebih efisien dibanding metode mekanis sebesar Rp.14.585.533.097 (82,6%). Dalam hal tenaga kerja, metode *blasting* membutuhkan 56 pekerja terutama tenaga ahli yang bersertifikasi, sementara metode mekanis membutuhkan 50 pekerja. Dampak lingkungan yang ditimbulkan dari metode *blasting* menghasilkan getaran yang signifikan dan memerlukan pengawasan ketat agar tidak berdampak pada struktur di sekitar lokasi serta menghasilkan polusi udara yang lebih tinggi, sementara metode mekanis menghasilkan getaran rendah dan bersifat lokal, sehingga lebih aman untuk lingkungan sekitar serta relatif lebih ramah lingkungan dengan polusi yang dapat dikendalikan.

Kata kunci: Peledakan; *Breaker*; Terowongan; Bendungan Rukoh

1. PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur yang melibatkan pekerjaan konstruksi bawah tanah seperti terowongan pada bendungan, merupakan salah satu aspek penting dalam mendukung pengelolaan sumber daya air. Terowongan adalah suatu lorong tertutup yang menghubungkan dua sisi terbuka seperti terowongan saluran air, terowongan jalan raya, terowongan jalan kereta api dan lain-lain atau menghubungkan satu sisi terbuka seperti terowongan pada pekerjaan tambang (Arif, 2016). Terowongan pengelak (*diversion tunnel*) merupakan salah satu konstruksi yang dibangun sebagai saluran pengelak selama pekerjaan berlangsung atau selama pelaksanaan konstruksi. Terowongan pengelak sangat penting dan wajib dibangun untuk mendukung pelaksanaan konstruksi bendungan agar berjalan dengan lancar (Simatupang et

al., 2020). Terowongan pengelak banyak dijumpai pada pekerjaan *dewatering* untuk bendungan, karena kondisi kanan kiri berbentuk bukit, sehingga untuk membuat saluran pengelak harus menggunakan terowongan yang menembus bukit (Anga et al., 2022).

Pada pembangunan terowongan sering dijumpai masalah yang tidak biasa terjadi pada rancangan bangunan biasa. Faktor-faktor geologi menjadi hal yang sangat penting dalam perancangan suatu galian bawah tanah atau terowongan karena berkaitan dengan kekuatan batuan (Artika, 2024). Pada pekerjaan galian batu, metode yang digunakan untuk memecah, memindahkan, atau menetralkan area kerja memiliki pengaruh signifikan terhadap pemilihan alat berat, efisiensi waktu, dan biaya pelaksanaan. Dua metode yang umum diterapkan dalam proses ini adalah metode mekanis dengan menggunakan *breaker* dan metode peledakan (*blasting*), dimana masing-masing metode memiliki karakteristik, keunggulan, serta keterbatasan yang dapat memengaruhi produktivitas keseluruhan pekerjaan. Hasil pengukuran yang diberikan di lokasi memberikan gambaran rinci terkait parameter geometri yang digunakan (Sundoyo & Hidayat, 2019).

Rock breaker adalah alat berat yang dipakai untuk membantu pekerjaan mekanis dalam hal penghancuran/*demolition*. Fungsi utama dari alat ini yaitu untuk melakukan penghancuran pada benda-benda keras saat melakukan pekerjaan galian, pengeboran, maupun perbaikan bangunan dan jalan raya (Assyifa & Priyanto, 2022). Metode mekanis (*breaker*) sering digunakan terutama di area perkotaan atau lingkungan yang sensitif. Beberapa kelebihan dari metode ini, antara lain: lebih ekonomis, penggalian dapat dilakukan secara presisi sehingga mengurangi resiko *overbreak*, serta getaran yang dihasilkan oleh *breaker* lebih kecil dibandingkan peledakan. Namun, metode ini sering kali membutuhkan waktu yang lebih lama untuk menyelesaikan pekerjaan penggalian, terutama jika kondisi batuan tergolong keras serta biaya operasional lebih tinggi karena konsumsi bahan bakar minyak dan tenaga kerja lebih banyak.

Sementara *blasting* atau peledakan adalah proses pemecahan batuan dengan menggunakan bahan peledak. *Blasting* biasanya dilakukan untuk mempercepat proses pekerjaan penambangan, memperkecil ukuran batuan yang terlalu besar untuk diangkut, atau untuk membuat jalan atau terowongan di dalam suatu batuan. Selain itu, *blasting* juga dapat digunakan untuk tujuan lain seperti konstruksi bangunan dan pembangunan jalan (Simamora et al., 2024). Metode *blasting* dikenal memiliki keunggulan dalam kecepatan pengerjaan, terutama untuk batuan yang sangat keras. Untuk proyek skala besar, metode ini lebih hemat dibandingkan dengan metode mekanis. Akan tetapi, metode ini memerlukan perencanaan yang lebih kompleks, serta biaya tambahan terkait izin penggunaan bahan peledak, peralatan keselamatan, dan dampak lingkungan. Bahan peledak dirancang untuk menghasilkan energi besar dalam waktu singkat, yang mampu memecahkan atau menghancurkan material keras seperti batuan (Muhajir et al., 2022). Peledakan memiliki daya rusak yang bervariasi tergantung dari jenis bahan peledak yang digunakan dan tujuan digunakannya bahan peledak tersebut. Metode ini melibatkan proses pengeboran pada dinding batuan untuk memasukkan bahan peledak, yang kemudian diledakkan untuk menghancurkan batuan. Setelah itu, dilakukan pembersihan dan pengangkutan material hasil peledakan.

Bendungan Rukoh merupakan salah satu proyek strategis nasional di Kabupaten Pidie, Provinsi Nangroe Aceh Darusalam (NAD). Kabupaten Pidie sebagai salah satu Kabupaten di dengan jumlah penduduk 444.898 jiwa tahun 2023, saat ini sedang tumbuh menjadi sebuah kabupaten maju (Balqis et al., 2024). Peningkatan jumlah penduduk mengakibatkan kebutuhan air bersih di wilayah Kabupaten Pidie semakin tinggi. Namun demikian Kabupaten Pidie dan sekitarnya setiap tahun mengalami banjir dan genangan air pada musim hujan, sementara itu kebutuhan air bersih menjadi sulit terpenuhi saat musim kemarau. Bendungan ini dibangun dengan tujuan untuk memenuhi kebutuhan irigasi, penyediaan air baku, serta mitigasi banjir. Salah satu komponen utama proyek ini adalah pembangunan terowongan pengelak yang berfungsi sebagai saluran pengalih air (*diversion tunnel*). Terowongan pengelak digunakan untuk mengalihkan aliran air dari sungai utama sehingga memungkinkan pekerjaan konstruksi bendungan seperti pembangunan tubuh bendungan, *spillway*, atau pondasi sehingga pekerjaan berlangsung tanpa gangguan. Sebagai salah satu bagian penting dari proyek ini, proses penggalian terowongan membutuhkan metode konstruksi yang efisien, aman, dan hemat biaya.

Penelitian ini dimaksudkan untuk membandingkan dua metode penggalian yaitu metode mekanis (*breaker*) dan metode peledakan (*blasting*) dari segi waktu, biaya, tenaga kerja serta dampak lingkungan yang mungkin timbul dalam pekerjaan terowongan pengelak pada Bendungan Rukoh yang berlokasi di Kabupaten Pidie, Nangroe Aceh Darusalam (NAD).

Beberapa penelitian terdahulu yang telah dilakukan terkait dengan penelitian ini, antara lain:

1. Pramonco & Widyadhana (2023) dengan judul “Analisis Produktivitas Galian Terowongan Pengambilan (*Intake Tunnel*) Secara Mekanis dan *Blasting* Pada Proyek Pembangunan Bendungan Meninting (Paket II)”. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa tenaga kerja yang dibutuhkan pada pekerjaan galian terowongan pengambilan (*intake tunnel*) secara mekanis berjumlah 14 orang sedangkan secara *blasting* berjumlah 15 orang. *Cycle time* terbesar yang dihasilkan pada galian terowongan secara mekanis bernilai 19,13 jam

sedangkan secara *blasting* 16,56 jam. Secara keseluruhan metode peledakan (*blasting*) memiliki produktivitas yang lebih tinggi dibandingkan metode mekanis dalam hal waktu siklus dan jumlah tenaga kerja yang dibutuhkan.

2. Pratama & Sandjaya (2025) dengan judul “Analisis Perbandingan Produktivitas Metode Pekerjaan Galian Batu Menggunakan *Rock Drill Breaker* Dan *Blasting*”. Penelitian dilakukan untuk membandingkan produktivitas dua metode galian batu, yaitu *rock drill breaker* dan *blasting*. Hasil penelitian menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antara kedua metode. Metode *blasting* mampu menghasilkan volume galian lebih besar per hari, namun memerlukan biaya operasional yang lebih tinggi dibandingkan dengan *rock drill breaker*. Waktu pengerjaan kegiatan pada metode *blasting* menunjukkan kecepatan pengerjaan yang lebih unggul. Temuan ini memberikan panduan penting bagi praktisi dan pengambil keputusan dalam memilih metode kerja yang sesuai untuk proyek galian batu.

2. METODE PENELITIAN

Secara umum ada tiga metode penelitian yang umum digunakan dalam penelitian ilmiah. Ketiga metode penelitian tersebut terdiri dari metode penelitian kuantitatif, metode penelitian kualitatif, dan metode penelitian kombinasi (*mix method*) (Strijker et al., 2020). Metode penelitian *mix method* digunakan dalam penelitian ini dengan menggabungkan metode kualitatif dan kuantitatif melalui teknik observasi lapangan, dokumentasi, wawancara, dan studi pustaka. Observasi dan dokumentasi bertujuan untuk memahami dan mengamati berbagai aspek pelaksanaan proyek serta melakukan pencatatan, penyimpanan, dan penyajian data yang relevan dengan penelitian, khususnya terkait efisiensi waktu, biaya, dan tenaga kerja dalam penggunaan dua metode konstruksi, yaitu metode mekanis (*breaker*) dan metode peledakan (*blasting*) serta dampak lingkungan yang akan ditimbulkan dari kedua metode tersebut. Metode wawancara bertujuan untuk menggali informasi mendalam mengenai pengetahuan, pandangan, serta pengalaman langsung dari individu yang memiliki keahlian atau keterlibatan langsung yang ditujukan kepada konsultan, kontraktor dan sub kontraktor yang terlibat dalam proyek pembangunan terowongan di Bendungan Rukoh.

Lokasi Penelitian

Penelitian ini berlokasi di Bendungan Rukoh Desa Alue, Kecamatan Titieu, Kabupaten Pidie, Provinsi Nangroe Aceh Darusalam (NAD) seperti terlihat pada Gambar 1, dimana lokasi yang diteliti adalah pembangunan terowongan pengelak dengan panjang terowongan 387 meter dengan diameter terowongan 6,5 meter. Lokasi pembangunan terowongan berada di area berbukit dengan karakteristik tanah dan batuan dominan berupa batuan keras (*hard rock*), sehingga memerlukan metode konstruksi yang efektif, baik dari segi waktu, biaya, maupun tenaga kerja.



Gambar 1. Lokasi penelitian

Metode Analisis

Penelitian ini dilakukan untuk membandingkan produktivitas dan efisiensi antara dua metode mekanis (*breaker*) dan metode peledakan (*blasting*). Produktivitas pada hakekatnya merupakan nilai banding antara hasil produksi dan faktor-faktor produksi yang dalam hal ini adalah peralatan dan tenaga kerja disamping modal dan sistem manajemennya sendiri. Produktivitas adalah kuantitas pekerjaan per jam tenaga kerja dan secara umum produktivitas merupakan perbandingan antara output dan input (Sedarmayanti, 2001).

$$\text{produktivitas waktu} = \frac{\text{Output}}{\text{Input}} \quad (1)$$

Pada pembangunan terowongan pengelak Bendungan Rukoh, perhitungan produktivitas dan efisiensi berdasarkan empat variabel utama, yaitu:

1. Efisiensi waktu pelaksanaan, mengukur total waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan pembangunan terowongan. Perhitungan produktivitas waktu menggunakan rumus:

$$\text{produktivitas waktu} = \frac{\text{Output (panjang terowongan (m))}}{\text{Input (waktu penyelesaian (jam/hari))}} \quad (2)$$

2. Efisiensi biaya pelaksanaan, meliputi biaya pembelian alat, operasional, pemeliharaan, serta biaya pekerja selama proses pembangunan. Perhitungan total biaya untuk kedua metode menggunakan rumus:

$$\text{Total Biaya} = \text{Biaya Alat} + \text{Biaya Tenaga Kerja} + \text{Biaya Operasional} \quad (3)$$

Perbandingan biaya per meter:

$$\text{biaya per meter} = \frac{\text{total biaya}}{\text{panjang terowongan (m)}} \quad (4)$$

Perbandingan Efisiensi Waktu dan Biaya:

$$\text{produktivitas biaya} = \frac{\text{Output (volume pekerjaan)}}{\text{Input (waktu, biaya dan tenaga kerja)}} \quad (5)$$

3. Efisiensi tenaga kerja, menilai jumlah tenaga kerja yang dibutuhkan serta tingkat keterlibatan pekerja pada setiap tahapan pelaksanaan pembangunan terowongan. Produktivitas tenaga kerja dihitung menggunakan rumus:

$$\text{produktivitas tenaga kerja} = \frac{\text{Output (volume pekerjaan (m}^3\text{))}}{\text{Input (jumlah tenaga kerja x waktu kerja (jam))}} \quad (6)$$

4. Dampak lingkungan yang ditimbulkan dari masing-masing metode. Pekerjaan terowongan pada proyek Bendungan Rukoh dapat memiliki dampak lingkungan yang signifikan, baik positif maupun negatif.

Diagram Alir Penelitian

Tahapan penelitian terlihat pada Gambar 2 dengan langkah-langkah sebagai berikut:



Gambar 2. Diagram alir penelitian

Gambar 2 diatas menggambarkan langkah-langkah pelaksanaan kegiatan penelitian dari awal sampai akhir.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Efisiensi Waktu Pelaksanaan

Metode mekanis (*breaker*) membutuhkan waktu rata-rata 1 – 2 meter perhari untuk penyelesaian terowongan, waktu ini dipengaruhi oleh tingkat kekerasan batuan yang tinggi, sehingga membutuhkan lebih banyak waktu untuk proses pemecahan menggunakan alat berat. Sedangkan metode *blasting* menunjukkan efisiensi waktu yang lebih tinggi, dengan rata-rata waktu penyelesaian sebesar 3 - 4 meter perhari, efisiensi ini dicapai karena proses peledakan mampu memecah batuan dalam volume besar secara lebih cepat. Adapun perhitungan waktunya sebagai berikut:

1. Metode Mekanis (*Breaker*)

Tahapan kerja dan waktu dengan metode mekanis (*breaker*) dapat dilihat pada Tabel 1 yang menjelaskan mengenai tahapan pekerjaan apa saja yang diperlukan, siklus waktu dan durasi yang dibutuhkan serta penjelasan mengenai pekerjaan yang dilakukan.

Tabel 1. Tahapan kerja dan waktu metode mekanis

Tahapan Kerja	Siklus (jam)	% Durasi	Durasi (Jam)	Keterangan
Pengukuran (<i>Survey</i>)	2	8,33%	388	Pembuatan titik as dan <i>line marking</i> terowongan
<i>Drilling forepoling</i>	3	12,50%	582	Pengeboran sebagai penahan batuan yang jatuh
Galian (<i>breaker</i>)	4	16,67%	776	Proses pemecahan batu menggunakan <i>breaker</i>
<i>Mucking</i>	2	8,33%	388	Mengangkut hasil galian <i>breaker</i>
<i>Scalling –Ciping</i>	3	12,50%	582	Pembersihan sisa galian
<i>Stell support</i>	2	8,33%	388	Pemasangan besi baja <i>habem</i> 200 x 200 mm
<i>Wiremesh</i>	1	4,17%	194	Pemasangan kawat baja penguat dinding
<i>Shotcrete</i>	4	16,67%	776	Penyemprotan dinding terowongan dengan beton
<i>Drilling Rockbolt</i>	3	12,50%	582	Pengeboran sebagai paku bumi atau penguatan dinding terowongan

- Produktivitas metode mekanis = 2 m/hari (24 jam)
- Waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan terowongan (hari)

$$\text{durasi pelaksanaan} = \frac{\text{panjang terowongan (m)}}{\text{waktu/hari}}$$

$$\text{durasi pelaksanaan} = \frac{387 \text{ m}}{2 \text{ m/hari}} = 193,5 \text{ hari} \approx 194 \text{ hari}$$
- Waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan terowongan (jam)

$$\text{Total waktu (Jam)} = \text{Durasi pelaksanaan} \times \text{Waktu (Jam)}$$

$$\text{Total waktu (Jam)} = 194 \times 24 = 4.656 \text{ jam}$$
- Persentase durasi = $\frac{\text{Siklus (jam)}}{24 \text{ (jam)}} \times 100\% = \frac{2}{24} \times 100 = 8,33\%$
- Durasi (jam) = Persentase durasi (%) x Total Waktu

$$= 8,33\% \times 4.656 = 387,8 \text{ jam} \approx 388 \text{ jam}$$

2. Metode Peledakan (*Blasting*)

Tahapan kerja dan waktu dengan metode peledakan (*blasting*) dapat dilihat pada Tabel 2 yang menjelaskan tahapan pekerjaan apa saja yang diperlukan, siklus waktu dan durasi yang dibutuhkan serta penjelasan mengenai pekerjaan yang dilakukan.

Tabel 2. Tahapan kerja dan waktu metode mekanis

Tahapan Kerja	Siklus (jam)	% Durasi	Durasi (Jam)	Keterangan
Pengukuran (<i>Survey</i>)	2	8,33%	258	Pembuatan titik as dan <i>line marking</i> terowongan
<i>Drilling forepoling</i>	3	12,50%	387	Pengeboran sebagai penahan batuan yang jatuh
<i>Drilling dan Blasting</i>	3	12,50%	387	Pemecahan batu menggunakan ledakan
<i>Mucking</i>	3	12,50%	387	Mengangkut hasil galian ledakan
<i>Scalling –Ciping</i>	3	12,50%	387	Pembersihan sisa galian
<i>Stell support</i>	2	8,33%	258	Pemasangan besi baja <i>habem</i> 200 x 200 mm
<i>Wiremesh</i>	1	4,17%	129	Pemasangan kawat baja penguat dinding
<i>Shotcrete</i>	4	16,67%	516	Penyemprotan dinding terowongan dengan beton
<i>Drilling Rockbolt</i>	3	12,50%	387	Pengeboran sebagai paku bumi atau penguatan dinding terowongan

- Produktivitas metode (*blasting*) = 3 meter/hari.
- Waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan terowongan (hari)

$$\text{durasi pelaksanaan} = \frac{\text{panjang terowongan (m)}}{\text{waktu/hari}}$$

$$\text{durasi pelaksanaan} = \frac{387 \text{ m}}{3 \text{ m/h}} = 129 \text{ hari}$$

- Waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan terowongan (jam)
Total waktu (Jam) = Durasi pelaksanaan x Waktu (Jam)
Total waktu (Jam) = 129 × 24 = 3.096 jam
- Persentase durasi = $\frac{\text{Siklus (jam)}}{24 \text{ (jam)}} \times 100\% = \frac{2}{24} \times 100 = 8,33\%$
- Durasi (jam) = Persentase durasi (%) x Total Waktu
= 8,33% x 3.096 = 257,8 jam ≈ 258 jam

Efisiensi Biaya Pelaksanaan

Dalam penelitian ini dilakukan perbandingan antara metode mekanis (*breaker*) dan metode peledakan (*blasting*) seperti yang terlihat dalam Tabel 3. Tabel ini menunjukkan perbandingan biaya operasional alat, material, tenaga kerja, serta faktor lain yang mempengaruhi total pengeluaran proyek. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui metode yang lebih efisien dari segi biaya berdasarkan data proyek terowongan Bendungan Rukoh dengan panjang terowongan 387 meter.

Tabel 3. Total biaya pekerjaan

Komponen Biaya	Metode Mekanis	Metode <i>Blasting</i>
Biaya Persiapan	700.050.000	1.427.509.000
Biaya Peralatan	6.371.736.000	4.391.676.000
Biaya BBM	5.412.600.000	3.599.100.000
Biaya Tenaga Kerja	2.101.147.097	1.529.180.448
Total Biaya	14.585.533.097	10.947.465.448

Pada tabel 3 diatas dapat diperinci sebagai berikut:

- Biaya persiapan (mobilisasi peralatan, mobilisasi bahan peledak, gudang bahan peledak, mess karyawan, kantor, perijinan (keamanan), alat pelindung diri (APD), ventilasi). Tabel 4 menunjukkan hasil perhitungan biaya persiapan pada metode mekanis (*breaker*), dan Tabel 5 menunjukkan hasil perhitungan biaya persiapan pada metode peledakan (*blasting*).

Tabel 4. Biaya persiapan metode mekanis (*breaker*)

Komponen biaya	Satuan	Harga satuan	Jumlah	Total biaya
Mobilisasi Peralatan	Trip	100.000.000	2	200.000.000
Kantor <i>site</i>	Unit	75.000.000	1	75.000.000
Mess karyawan	Unit	10.000.000	4	40.000.000
APD	Set	300.000	48	14.400.000
Biaya koordinasi	Bulan	3.000.000	1	3.000.000
Ventilasi dan <i>Blower</i>	Meter	950.000	387	367.650.000
Total Biaya Persiapan				700.050.000

Tabel 5. Biaya persiapan metode peledakan (*blasting*)

Komponen biaya	Satuan	Harga satuan	Jumlah	Total biaya
Mobilisasi Peralatan	Trip	100.000.000	2	200.000.000
Mobilisasi Handak	Trip	265.000.000	1	265.000.000
Gudang Handak	Unit	25.000.000	3	75.000.000
Bahan Peledak <i>Detonator</i>	Pcs	26.000	5.418	140.868.000
Bahan Peledak <i>Powergel</i>	Kg	57.000	4.063	231.591.000
Mesin <i>Blasting</i>	Unit	15.000.000	1	15.000.000
Kantor <i>site</i>	Unit	75.000.000	1	75.000.000
Mess karyawan	Unit	10.000.000	4	40.000.000
APD	Set	300.000	48	14.400.000
Biaya kordinasi keamanan	Bulan	3.000.000	1	3.000.000
Ventilasi dan <i>Blower</i>	Meter	950.000	387	367.650.000
Total Biaya Persiapan				1.427.509.000

- b. Biaya peralatan dan operasional (sewa alat, perawatan) adalah seluruh pengeluaran yang dibutuhkan untuk menggunakan alat berat atau peralatan kerja selama masa pelaksanaan proyek, biaya ini sangat berpengaruh terhadap total biaya pekerjaan. Tabel 6 menunjukkan hasil perhitungan biaya peralatan dengan menggunakan metode mekanis (*breaker*) dan Tabel 7 menunjukkan hasil perhitungan biaya peralatan dengan menggunakan metode peledakan (*blasting*).

Tabel 6. Biaya peralatan metode mekanis (*breaker*)

Komponen biaya	Satuan	Harga satuan	Jumlah	Total biaya
<i>Compresor airman 750</i>	Jam	275.000	4.656	1.280.400.000
<i>Generator set 100 Kva</i>	Jam	150.000	4.656	698.400.000
<i>Excavator breaker pc 200</i>	Jam	450.000	4.656	2.095.200.000
<i>Excavator bucket pc 75</i>	Jam	300.000	4.656	1.396.800.000
<i>Dumptruck 220ps</i>	Jam	150.000	4.656	698.400.000
Mobil operasional	Jam	16.000	4.656	74.496.000
Mesin <i>Shotcrete</i>	Jam	27.500	4.656	128.040.000
Total Biaya Peralatan				6.371.736.000

Tabel 7. Biaya peralatan metode peledakan (*blasting*)

Komponen biaya	Satuan	Harga satuan	Jumlah	Total biaya
<i>Compresor airman 750</i>	Jam	275.000	3.096	851.400.000
<i>Generator set 100 Kva</i>	Jam	150.000	3.096	464.400.000
<i>CRD/Legdrill</i>	Jam	50.000	3.096	154.800.000
<i>Excavator bucket pc 200</i>	Jam	450.000	3.096	1.393.200.000
<i>Excavator breaker pc 75</i>	Jam	300.000	3.096	928.800.000
<i>Dumptruck 220ps</i>	Jam	150.000	3.096	464.400.000
Mobil operasional	Jam	16.000	3.096	49.536.000
Mesin <i>Shotcrete</i>	Jam	27.500	3.096	85.140.000
Total Biaya Peralatan				4.391.676.000

- c. Biaya bahan bakar minyak (BBM dan pelumas) adalah komponen vital dalam pengoperasian alat berat untuk proyek terowongan, penggunaan yang efisien dan terkontrol dapat menghemat biaya operasional secara signifikan. Bahan bakar yang digunakan adalah solar non subsidi (industri) yang dikeluarkan resmi oleh Pertamina. Tabel 8 menunjukkan hasil perhitungan biaya BBM dengan menggunakan metode mekanis (*breaker*) dan Tabel 9 menunjukkan hasil perhitungan biaya BBM dengan menggunakan metode peledakan (*blasting*).

Tabel 8. Biaya BBM Metode Mekanis (*breaker*)

Komponen biaya	Satuan (L/J)	Harga (per liter)	Jumlah (L/J)	Jumlah (jam)	Total biaya
<i>Compresor airman 750</i>	20	15.000	300.000	4.656	1.396.800.000
<i>Generator set 100 Kva</i>	15	15.000	225.000	4.656	1.047.600.000
<i>Excavator breaker pc 200</i>	20	15.000	300.000	4.656	1.396.800.000
<i>Excavator bucket pc 75</i>	15	15.000	225.000	4.656	1.047.600.000
<i>Dumptruck 220ps</i>	5	15.000	75.000	4.656	349.200.000
Mobil operasional	2,5	15.000	37.500	4.656	174.600.000
Total Biaya					5.412.600.000

Tabel 9. Biaya BBM Metode Peledakan (*blasting*)

Komponen biaya	Satuan (L/J)	Harga (per liter)	Jumlah (L/J)	Jumlah (jam)	Total biaya
<i>Compresor airman 750</i>	20	15.000	300.000	3.096	928.800.000
<i>Generator set 100 Kva</i>	15	15.000	225.000	3.096	696.600.000
<i>Excavator breaker pc 200</i>	20	15.000	300.000	3.096	928.800.000
<i>Excavator bucket pc 75</i>	15	15.000	225.000	3.096	696.600.000
<i>Dumptruck 220ps</i>	5	15.000	75.000	3.096	232.200.000
Mobil operasional	2,5	15.000	37.500	3.096	116.100.000
Total Biaya					3.599.100.000

- d. Biaya tenaga kerja (jumlah pekerja, konsumsi dan upah per hari) adalah seluruh pengeluaran yang dibayarkan kepada pekerja yang terlibat dalam pelaksanaan proyek. Biaya ini biasanya dibagi menjadi:

- Tenaga kerja langsung: pekerja lapangan seperti operator alat, tukang *shotcrete*, *helper*, pengawas lapangan.
- Tenaga kerja tidak langsung: pengawas proyek, staf logistik, keamanan, teknisi mekanik.

Tabel 10 menunjukkan hasil perhitungan biaya tenaga kerja dengan menggunakan metode mekanis (*breaker*). Jumlah total pekerja sebanyak 50 orang (sisi *inlet* dan *outlet*) dan durasi waktu kerja selama 194 hari (terowongan panjang 387 meter, kecepatan 2 meter/hari).

Tabel 10. Biaya tenaga kerja metode mekanis (*breaker*)

Jabatan	Jumlah	Upah Harian	Total Hari	Total biaya
Manajer	1	313.690	194	60.855.860
<i>Supervisor</i>	1	293.690	194	56.975.860
Kuangan (Admin)	2	202.823	194	78.695.324
Logistik	2	202.823	194	78.695.324
<i>Foreman</i>	4	251.734	194	195.345.584
<i>Miner</i>	26	204.778	194	1.032.900.232
Mekanik	2	234.778	194	91.093.864
Operator	4	251.734	194	195.345.584
<i>Helper</i>	4	187.823	194	130.230.684
<i>Driver</i>	2	221.734	194	86.032.792
K3	2	204.778	194	79.453.864
Total Biaya Kerja				2.101.147.097

Tabel 11 menunjukkan hasil perhitungan biaya tenaga kerja dengan menggunakan metode peledakan (*blasting*). Jumlah total pekerja sebanyak 56 orang (sisi *inlet* dan *outlet*) dan durasi waktu kerja selama 129 hari (terowongan panjang 387 meter, kecepatan 3 meter/hari).

Tabel 11. Biaya tenaga kerja metode peledakan (*blasting*)

Jabatan	Jumlah	Upah Harian	Total Hari	Total biaya
Manajer	1	313.690	129	40.466.010
<i>Supervisor</i>	1	293.690	129	37.886.010
Kuangan (Admin)	2	202.823	129	52.328.334
Logistik	2	202.823	129	52.328.334
<i>Foreman</i>	4	251.734	194	195.345.584
<i>Blaster</i>	2	251.734	129	64.947.372
<i>Miner</i>	26	204.778	129	686.825.412
Mekanik	2	234.778	129	60.572.724
Operator	4	251.734	129	129.894.744
<i>Helper</i>	4	167.823	129	86.596.668
<i>Driver</i>	2	221.734	129	57.207.372
K3	2	204.778	129	52.832.724
<i>Security</i>	4	150.000	129	77.400.000
Total Biaya Kerja				1.529.180.448

Efisiensi Tenaga Kerja

Berdasarkan hasil observasi pada proyek terowongan pengelak Bendungan Rukoh, ditemukan perbedaan signifikan antara metode mekanis (*breaker*) dengan metode peledakan (*blasting*). Tabel 12 menunjukkan perbedaan jumlah dan efisiensi tenaga kerja pada kedua metode tersebut.

Tabel 12. Jumlah dan efisiensi tenaga kerja

Parameter	Metode Mekanis (<i>Breaker</i>)	Metode Peledakan (<i>Blasting</i>)
Jumlah total pekerja	50 orang	56 orang
Jumlah hari kerja	194 hari	129 hari
Biaya tenaga kerja total	Rp 2.101.147.097	Rp 1.529.180.448
Posisi khusus	Mekanik, <i>operator</i> , <i>helper</i>	Tambahan: <i>Blaster</i> , <i>Security</i>
Tingkat risiko	Lebih rendah, lebih aman	Lebih tinggi, risiko ledakan
Produktivitas penggalian	2 meter/hari	3 meter/hari
Kebutuhan pengawasan	Sedang	Tinggi (butuh sertifikasi dan pengawasan)
Efisiensi kerja	Stabil dalam jangka panjang	Lebih tinggi dalam jangka pendek

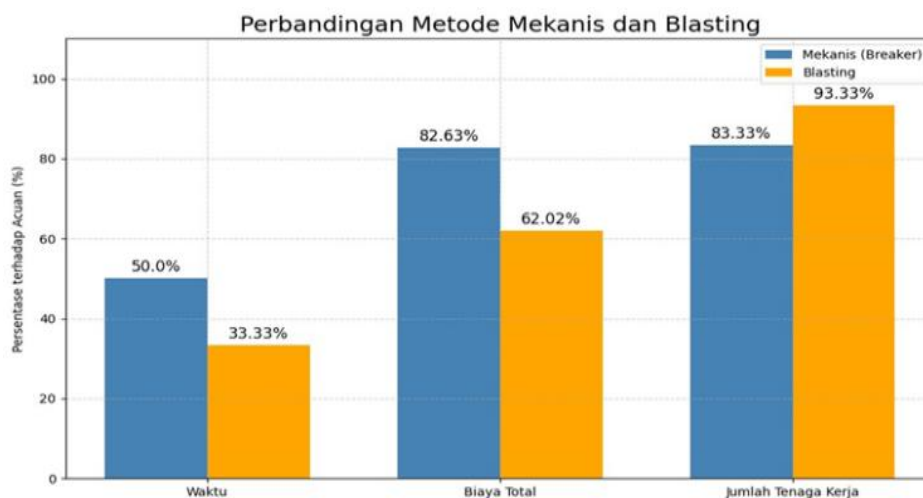
- Metode Mekanis (*Breaker*)**

Jumlah total pekerja sebanyak 50 orang, dengan durasi kerja selama 194 hari. Pekerjaan dilakukan dengan intensitas lebih tinggi karena keterbatasan kapasitas pemecahan batuan oleh *breaker*. Produktivitas relatif lebih rendah, sehingga memerlukan waktu kerja yang lebih panjang dan tenaga kerja yang lebih konsisten dalam jangka panjang.

- Metode Peledakan (*Blasting*)**

Melibatkan 56 orang pekerja, dengan durasi kerja selama 129 hari. Produktivitas tenaga kerja meningkat karena satu kali peledakan mampu menghancurkan volume batuan besar yang kemudian langsung diangkut, meskipun pekerjaan membutuhkan keahlian khusus seperti blaster bersertifikat dan pengawasan ketat K3.

Berdasarkan data pada tabel diatas, diketahui bahwa metode *blasting* lebih unggul dalam produktivitas tenaga kerja dan durasi kerja menjadi lebih singkat, walaupun melibatkan personel lebih banyak, namun metode mekanis lebih aman dan stabil untuk area berisiko tinggi. Gambar 3 dibawah ini menunjukkan perbandingan metode mekanis dengan *blasting* terhadap parameter waktu, biaya total, dan biaya tenaga kerja.



Gambar 3. Perbandingan metode mekanis dan *blasting*

Berdasarkan Gambar 3 diatas terlihat bahwa pelaksanaan penyelesaian terowongan dengan metode *blasting* hanya membutuhkan waktu 129 hari (33,33%) dari total seluruh pekerjaan dibandingkan metode mekanis 194 hari (50,12%). Hal ini berarti pengerjaan kegiatan lebih cepat dan efisien secara waktu. Biaya total pekerjaan dengan menggunakan metode *blasting* sebesar Rp.10.947.465.448 (62%) lebih efisien dibanding metode mekanis sebesar Rp.14.585.533.097 (82,6%). Dalam hal tenaga kerja pada metode *blasting* membutuhkan 56 pekerja dibandingkan dengan metode mekanis sebanyak 50 pekerja. Hal ini menunjukkan bahwa metode *blasting* lebih banyak menggunakan tenaga kerja terutama tenaga ahli yang bersertifikasi dibandingkan dengan metode mekanis.

Dampak Lingkungan

1. Getaran

Dalam kegiatan konstruksi, terutama pada pekerjaan pemecahan batuan atau pengerukan, pemilihan metode kerja sangat mempengaruhi dampak terhadap lingkungan sekitar. Salah satu aspek penting yang perlu diperhatikan

adalah getaran yang dihasilkan dari metode yang digunakan. Dua metode umum yang sering diterapkan adalah metode mekanis (*breaker*) dan metode peledakan (*blasting*). Masing-masing metode memiliki karakteristik dan tingkat dampak getaran yang berbeda terhadap lingkungan, struktur sekitar, serta kebutuhan monitoring. Tabel 13 menunjukkan hasil perbandingan kedua metode berdasarkan parameter penting yang berkaitan dengan dampak getaran.

Tabel 13. Parameter getaran

Parameter	Metode Mekanis (<i>Breaker</i>)	Metode Peledakan (<i>Blasting</i>)
Dampak Getaran	Rendah, hanya lokal pada area kontak <i>breaker</i>	Tinggi, menyebar dan dapat memengaruhi struktur sekitar
Perlu monitoring khusus	Tidak diperlukan	Diperlukan alat pemantauan getaran
Risiko pada struktur sekitar	Minimal	Signifikan, terutama pada area sensitif

Metode *blasting* menghasilkan dampak getaran yang cukup signifikan. Proses peledakan menciptakan gelombang kejut yang menyebar ke lingkungan sekitar dan dapat memengaruhi kestabilan batuan atau struktur di sekitarnya. Getaran ini juga berisiko memicu deformasi terowongan dan mengganggu kegiatan di sekitar proyek, serta memerlukan analisis pemantauan getaran dengan alat khusus. Sebaliknya, metode mekanis menghasilkan getaran yang jauh lebih kecil, *breaker* hanya memproduksi getaran lokal pada area kontak langsung batuan, sehingga tidak menimbulkan dampak besar terhadap lingkungan sekitar.

2. Polusi Udara

Polusi udara merupakan salah satu dampak lingkungan yang perlu diperhatikan dalam kegiatan operasional, terutama yang melibatkan alat berat atau proses peledakan (*blasting*). Kegiatan ini menghasilkan berbagai jenis polutan seperti debu, gas sisa pembakaran, dan emisi bahan peledak. Tingkat polusi yang dihasilkan sangat bergantung pada metode kerja yang digunakan. Tabel 14 memberikan gambaran perbandingan tingkat polusi udara, jenis polusi, kebutuhan ventilasi, serta dampaknya terhadap pekerja dan masyarakat sekitar dari kedua metode yang digunakan.

Tabel 14. Identifikasi dampak dan aspek polusi udara

Uraian	Metode Mekanis (<i>Breaker</i>)	Metode Peledakan (<i>Blasting</i>)
Polusi Udara	Rendah, berasal dari alat berat (emisi & debu)	Tinggi, debu dan gas sisa bahan peledak
Jenis polusi	Debu alat berat, emisi solar	Debu, NOx, suara ledakan
Kebutuhan ventilasi	Sedang	Tinggi, diperlukan sistem ventilasi tambahan
Dampak terhadap pekerja	Lebih aman dan terkendali	Perlu APD lengkap dan pembatasan waktu kerja
Efek terhadap masyarakat	Minim	Berpotensi mengganggu jika dekat permukiman

Metode *blasting* cenderung menghasilkan emisi debu dan gas beracun (seperti NOx) akibat reaksi kimia dari bahan peledak. Partikel debu dari ledakan sangat mudah tersebar ke udara dan berpotensi membahayakan pekerja serta masyarakat sekitar jika tidak dilakukan penyemprotan atau ventilasi yang memadai. Selain itu, polusi suara dari ledakan juga menjadi keluhan umum di area kerja. Sementara itu, metode mekanis juga menghasilkan debu, tetapi lebih terkendali dan mudah diminimalisir dengan sistem penyemprotan air atau *exhaust fan*. Emisi polusi udara dari metode mekanis lebih banyak berasal dari alat berat seperti *excavator*, namun masih lebih rendah dibandingkan dengan metode *blasting*.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis terhadap perbandingan antara metode mekanis (*breaker*) dengan metode peledakan (*blasting*) pada pembangunan terowongan pengelak Bendungan Rukoh, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut: metode peledakan (*blasting*) lebih efektif dan efisien dalam aspek waktu dan biaya total meskipun biaya awalnya tinggi, namun dapat ditekan dengan waktu pelaksanaan yang lebih singkat dan dapat mengurangi jam kerja alat dan tenaga kerja. Sedangkan ditinjau dari segi tenaga kerja, metode mekanis lebih unggul karena membutuhkan tenaga ahli bersertifikasi yang lebih sedikit serta lebih aman dalam hal keselamatan kerja dibanding metode *blasting*.

Dampak lingkungan yang ditimbulkan dari metode blasting menghasilkan getaran yang signifikan dan memerlukan pengawasan ketat agar tidak berdampak pada struktur di sekitar lokasi serta menghasilkan polusi udara yang lebih tinggi, sementara metode mekanis menghasilkan getaran rendah dan bersifat lokal, sehingga lebih aman untuk lingkungan sekitar serta relatif lebih ramah lingkungan dengan polusi yang dapat dikendalikan.

Secara keseluruhan, metode *blasting* dapat dianggap lebih efisien untuk diterapkan dalam proyek pekerjaan terowongan, terutama jika waktu penyelesaian menjadi faktor utama, namun metode mekanis lebih aman dari sisi lingkungan dan keselamatan kerja, sehingga pemilihannya perlu disesuaikan dengan kebutuhan proyek dan kondisi lingkungan sekitar.

DAFTAR PUSTAKA

- Anga, N., Lukman, M., & Bungin, E. R. (2022). Alternatif perencanaan terowongan pengelak (diversion tunnel) Bendungan Pamukkulu. *Paulus Civil Engineering Journal*, 4(3), 393–400. <https://doi.org/10.52722/xysbq778>
- Arif, I. I. (2016). *Geoteknik Tambang*. Gramedia Pustaka Utama.
- Artika, T. (2024). *Analisis tipe penggalian terowongan pada tanah lunak menggunakan software plaxis 3d (Studi kasus Terowongan Suplesi Bendungan Rukoh)* [Skripsi, Universitas Malikussaleh]. <https://rama.unimal.ac.id/id/eprint/8418>
- Assyifa, R. N., & Priyanto, B. (2022). Analisis produktivitas alat berat untuk pekerjaan galian pada proyek pembangunan Jalan Tepus-Jerukwudel II (STA 25+ 100-25+ 225). *Jurnal ISAINTEK*, 5(4), 19–23. <https://doi.org/10.55606/isaintek.v5i4.74>
- Balqis, S.A., Sukma, P.M., Asnidar, Hanum, N., Andiny, P., Safuridar, S. (2024). Analisis pengaruh indeks pembangunan manusia (IPM) dan pertumbuhan ekonomi terhadap kemiskinan di Kabupaten Pidie. *Jurnal Ekonomi Dan Pembangunan Indonesia*, 2(4), 137–147. <https://doi.org/10.61132/jepi.v2i4.965>
- Muhajir, A., Simangunsong, G. M., & Prasetyo, S. H. (2022). Simulasi dinamik peledakan terowongan secara 3 dimensi menggunakan blast load. *Jurnal GEOSAPTA*, 8(1), 27–31. <https://doi.org/10.20527/jg.v8i1.11489>
- Pramonco, J. A., & Widyadhana, M. H. (2023). *Analisis produktivitas galian terowongan pengambilan (intake tunnel) secara mekanis dan blasting pada Proyek Pembangunan Bendungan Meninting (Paket II) (lokasi: TA2023TKBA25-38)* [Tugas akhir, Politeknik Pekerjaan Umum]. <http://eprints.politeknikpu.ac.id/id/eprint/352>
- Pratama, M. D., & Sandjaya, A. (2025). Analisis perbandingan produktivitas metode pekerjaan galian batu menggunakan rock drill breaker dan blasting. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 8(1), 19–28. <https://doi.org/10.24912/jmts.v8i1.33089>
- Sedarmayanti. (2001). *Sumber Daya Manusia dan Produktivitas Kerja*. Bandung, Refika Aditam.
- Simamora, W. V., Naufal, A., Herwindo, W., & Riyanto, D. P. (2024). Studi evaluasi manajemen konstruksi pekerjaan galian batu dengan peledakan pada bangunan pelimpah proyek pembangunan bendungan budong-budong. *Jurnal Inovasi Konstruksi*, 3(1), 1–14. <https://doi.org/10.56911/jik.v3i1.59>
- Simatupang, S. A., Lukman, M., & Tanan, B. (2020). Tinjauan perencanaan terowongan Pengelak Bendungan Karalloe di Kabupaten Gowa. *Paulus Civil Engineering Journal*, 2(1), 63–69. <https://doi.org/10.52722/wb0j2q92>
- Strijker, D., Bosworth, G., & Bouter, G. (2020). Research methods in rural studies: Qualitative, quantitative and mixed methods. *Journal of Rural Studies*, 78, 262–270. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2020.06.007>
- Sundoyo, S., & Hidayat, R. N. (2019). Kajian perhitungan biaya blasting PT. Bukit Baiduri Energi Site Merandai Kabupaten Kutai Kartanegara Provinsi Kalimantan Timur. *Jurnal Geologi Pertambangan (JGP)*, 25(2). <https://doi.org/10.53640/jgp.v25i2.681>

