

PERBANDINGAN PENGGUNAAN METODE *BLASTING* DAN ALAT MEKANIS (*HYDRAULIC BREAKER*) PADA PEKERJAAN GALIAN SPILLWAY BENDUNGAN BAGONG TRENGGALEK

Muhammad Iqbal Nur Aziz¹, Moch. Khamim², Mona Shinta Safitri³

Mahasiswa Manajemen Rekayasa Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang¹, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang², Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang³

muhammadiqbal181001@gmail.com¹, chamim@polinema.ac.id², mona.shinta@polinema.ac.id³

ABSTRAK

Bangunan pelimpah (*spillway*) Bendungan Bagong Trenggalek dibangun pada area perbukitan dengan kondisi geologi tanah keras sehingga memerlukan pekerjaan galian dengan waktu yang cukup lama. Oleh karena itu, dalam perencanaan dan metode pelaksanaan pekerjaan galian perlu diperhitungkan secara optimal dan efisien. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung volume kebutuhan galian *spillway*, merencanakan geometri peledakan, serta menganalisis metode peledakan (*blasting*) dengan metode mekanis (*hydraulic breaker*) dari segi biaya, waktu, dan safety (manajemen resiko). Hasil analisis berdasarkan perhitungan volume produksi galian *spillway* adalah 322220,55 m³. Metode peledakan (*blasting*) menggunakan geometri peledakan C.J Konya diperoleh produktivitas sebesar 1118,82 m³/hari dengan hasil analisis perhitungan biaya sebesar Rp31.106.081.375,63, durasi produksi galian *spillway* 360 hari kerja efektif, serta memiliki tingkat risiko keamanan yang lebih tinggi dengan nilai skor 7,44. Sementara untuk metode mekanis (*hydraulic breaker*) dengan volume produksi galian yang sama diperoleh produktivitas sebesar 859,26 m³/hari dengan hasil analisis perhitungan biaya sebesar Rp33.469.744.648,79, durasi produksi galian *spillway* 375 hari kerja efektif, serta memiliki tingkat risiko keamanan yang lebih rendah dengan nilai skor 6,97.

Kata kunci: *blasting*; galian; produktivitas; bendungan; pelimpah

ABSTRACT

The Bagong Trenggalek Dam spillway was built in a hilly area with hard geological conditions that require excavation work with a long time. Therefore, the planning and implementation methods of excavation work need to be calculated optimally and efficiently. This research aims to calculate the volume of spillway excavation needs, plan the blasting geometry, and analyze the blasting method with mechanical hydraulic breaker methods in terms of cost, time, and safety risk management. The results of the analysis based on the calculation volume of the spillway excavation production is 322220.55 m³. The blasting method using the C.J Konya blasting geometry, the productivity with blasting method is 1118.82 m³ / day with the result of the cost calculation analysis of Rp31.106.081.375,63, the production duration of the spillway excavation is 360 working days, and has a higher level of safety risk with a score of 7,44. Meanwhile the mechanical hydraulic breaker method with the same excavation volume obtained a productivity of 859.26 m³ / day with the result of the cost calculation analysis of Rp33.469.744.648,79, the production duration of the spillway excavation is 375 working days, and has a lower level of safety risk with a score of 6,97.

Keywords: *blasting*; excavation; productivity; dam; spillway

1. PENDAHULUAN

Bendungan Bagong terletak di Desa Sumurup dan Sengon yang berjarak sekitar 10 km dari pusat Kabupaten Trenggalek. Dikarenakan bendungan ini adalah tipe urugan zona inti tegak, maka akan diperlukan banyak pekerjaan galian dalam skala besar seperti diantaranya pada sandaran kiri, bendungan utama (*maindam*), serta pelimpah (*spillway*)

untuk pemanfaatan material timbunan badan bendungan utama zona 4 (*random*).

Produktivitas dalam pekerjaan perlu diusahakan dan setiap metode pelaksanaan dapat diperhitungkan penggunaan alat dan bahan yang efisien untuk memperlancar pekerjaan.

Mengingat kondisi geologi tanah dan batuan yang sulit diprediksi secara akurat, maka dalam pekerjaan di lapangan

sering didapatkan kondisi tidak sesuai dengan perencanaan awal. Penggunaan metode peledakan ataupun metode mekanis menjadi salah satu perbandingan metode yang paling umum dalam pekerjaan galian. Kedua metode tersebut memiliki cara, kemudahan, dan tingkat produktivitas masing-masing sesuai spesifikasi yang dapat memperlancar pekerjaan. Akan tetapi, dikarenakan durasi yang terbatas serta volume galian yang cukup besar, ditambah juga dengan faktor keamanan maka diperlukan rencana galian yang maksimal dan efektif guna mendapatkan suplai material dengan pertimbangan biaya, waktu, dan tingkat resiko yang sesuai dengan mutu dan spesifikasi yang telah disepakati.

Berdasarkan latar belakang diatas tujuan dari pembahasan ini meliputi:

1. Merencanakan metode peledakan dan metode mekanis *hydraulic breaker* untuk galian spillway Bendungan Bagong Trenggalek.
2. Menghitung perbandingan durasi galian spillway menggunakan metode peledakan dengan penggunaan mekanis *hydraulic breaker*.
3. Menghitung perbandingan biaya galian spillway menggunakan metode peledakan dengan penggunaan mekanis *hydraulic breaker*.
4. Menganalisis perbandingan manajemen K3L pekerjaan galian spillway menggunakan metode peledakan dengan penggunaan mekanis *hydraulic breaker*.

Geometri Peledakan

Geometri peledakan merupakan parameter yang digunakan dalam menentukan pola letak bahan peledak serta batuan yang akan diledakkan dalam suatu peledakan. Menurut C.J Konya (1972) dalam operasi peledakan ada tujuh standar dasar geometri peledakan yaitu *burden*, *spacing*, *stemming*, *subdrilling*, kedalaman lubang ledak, panjang kolom isian dan tinggi jenjang [1].

a. Burden

Burden adalah jarak tegak lurus lubang bor terhadap bidang bebas (*freeface*) [2]. Secara teoritis, jika jarak *burden* terlalu kecil akan menghasilkan bongkaran yang terlalu hancur dan kemungkinan terjadinya batu terbang (*flyrock*) akan besar, sedangkan bila jarak *burden* terlalu besar akan menghasilkan fragmentasi batuan yang kurang baik.

Rancangan menurut C.J Konya untuk mencari nilai *burden* sebagai berikut:

$$B = 3,15 \times De \times 3 \sqrt{\frac{SGe}{SGr}} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana:

B = *Burden* (ft)

De = Diameter lubang ledak (inch)

Sge = Berat jenis bahan peledak yang dipakai

SGr = Berat jenis batuan yang akan dibongkar

b. Spacing

Spacing adalah jarak diantara lubang ledak dalam satu garis yang sejajar dengan bidang bebas [3]. Besarnya spasi dapat dihitung berdasarkan pada persamaan berikut:

Untuk tinggi jenjang rendah ($H/B < 4$)

1. *Instantaneous initiation*

$$S = (H + 2B)/8 \dots\dots\dots(2)$$

2. *Delayed initiation*

$$S = (H + 7B)/8 \dots\dots\dots(3)$$

Untuk tinggi jenjang tinggi ($H/B > 4$)

1. *Instantaneous initiation*

$$S = 2B \dots\dots\dots(4)$$

2. *Delayed initiation*

$$S = 1,4B \dots\dots\dots(5)$$

Dimana:

S = Jarak spasi (m)

H = Tinggi jenjang (m)

B = Jarak *burden* (m)

c. Stemming

Menentukan *stemming* dengan persamaan berikut:

$$T = B \text{ (batuan massive)} \dots\dots\dots(6)$$

$$T = 0,7B \text{ (batuan berlapis)} \dots\dots\dots(7)$$

Dimana:

T = *Stemming* (m)

B = *Burden* (m)

d. Subdrilling

Penentuan tinggi *subdrilling* digunakan rumus seperti di bawah ini:

$$J = K_j \times B \dots\dots\dots(8)$$

Dimana:

J = *Subdrilling* (m)

Kj = *Subdrilling ratio* (0,3)

B = *Burden* (m)

e. Kedalaman Lubang Ledak

Penentuan kedalaman lubang ledak digunakan rumus seperti di bawah ini:

$$H = L + J \dots\dots\dots(9)$$

Dimana:

H = Kedalaman lubang ledak (m)

L = Tinggi Jenjang (m)

J = *Subdrilling* (m)

f. Panjang Kolom Isian

Charge length adalah panjang kolom isian untuk bahan peledak dengan perhitungan sebagai berikut:

$$PC = H - T \dots\dots\dots(10)$$

Dimana:

PC = Panjang kolom isian/*Powder colum* (m)

H = Kedalaman lubang ledak (m)

T = Stemming (m)

g. Tinggi Jenjang

Penentuan ukuran tinggi jenjang berdasarkan stiffness ratio atau juga menurut aturan lima (*rule of five*) digunakan rumus sebagai berikut:

$$L = 5 \times De \dots\dots\dots (11)$$

Dimana:

L = Tinggi jenjang minimum (ft)

De = Diameter lubang ledak (inci)

Target Produksi

Target produksi merupakan jumlah material yang diledakkan dan dihasilkan yang dihitung dari luas area dan kedalaman lubang ledaknya. Persamaan umum yang digunakan untuk menentukan target produksi peledakan adalah:

$$V = B \times S \times L \dots\dots\dots (12)$$

Dimana:

V = Volume peledakan (m³)

B = *Burden* (m)

L = Tinggi jenjang (m)

S = *Spacing* (m)

Fragmentasi

Distribusi fragmentasi batuan berdasarkan geometri peledakan di lapangan dapat diperkirakan menggunakan persamaan empiris metode Kuz-Ram dimana metode tersebut merupakan pengembangan persamaan Kuznetsov dan persamaan Rossin-Rammler dengan rumus sebagai berikut: [4]

$$X = a \times \left(\frac{V}{Q}\right)^{0,8} \times Q^{0,17} \times \left(\frac{E}{115}\right)^{-0,63} \dots\dots\dots (13)$$

Dimana:

X = Ukuran rata-rata fragmentasi (cm)

A = Faktor batuan

V = Volume batuan yang terongkar (m³)

Q = Berat bahan peledak tiap lubang (kg)

E = *Relative weight strength* (ANFO = 100)

Galian Alat Berat

Pekerjaan galian dan timbunan berkaitan dengan pemilihan jenis alat berat meliputi penggalian (*excavating*), pemuatan (*loading*), dan pengangkutan (*hauling*). Pemilihan peralatan yang digunakan akan sangat mempengaruhi jumlah produksi yang akan dicapai serta menyesuaikan dengan kondisi tanah yang akan digali. Peralatan yang biasanya dipakai antara lain: *dump truck*, *bulldozer*, *excavator*, *hydraulic breaker*, dan *drilling machine* [5].

Hydraulic Breaker

Excavator hydraulic breaker adalah alat berat yang digunakan untuk membantu pekerjaan dalam hal pemecahan (*demolition*) dengan bentuk mirip bor raksasa bertenaga besar yang dipasang pada ujung *excavator*. Fungsi utama dari alat ini yaitu untuk melakukan pemecahan pada benda-benda

keras saat melakukan pekerjaan galian atau pengeboran pada konstruksi, pertambangan, atau quarry [6].

Produktivitas Bulldozer

Produktivitas produ

ksi loading dengan metode *cross loading* (*i-shape loading*) dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$Q = ql \times a \times \frac{3600}{\left(\frac{D}{F+R}\right)^{n+z}} e X E \dots\dots\dots (14)$$

Dimana:

Q = Produktivitas per jam (m³/jam)

ql = Produktivitas per siklus

a = *Blade fill factor*

e = *Grade factor*

F = Kecepatan maju (3-5 km/jam)

R = Kecepatan mundur (5-7 km/jam)

n = 1 *cross section*

N = 2 *V shape loading*

Z = Waktu tetap

CT = *Cycle time*

Produktivitas Dump Truck

Produktivitas produksi *dump truck* dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$Q = \frac{C \times 60 \times ET}{(n \times cms) + \left(\frac{D}{v_1} + \frac{D}{v_2}\right) t_1 + t_2} \dots\dots\dots (15)$$

Q = Produktivitas per jam (m³/jam)

C = Kapasitas vessel LCM atau non

FK = Faktor koreksi, dipengaruhi oleh ketersediaan mesin, skill operator, dan efisiensi waktu

CT = *Cycle time* per rit dari *dump truck*

n = Jumlah rit per muatan

ct = *Cycle time* per rit dari *shovel/excavator*

D = Jarak angkut *dump truck*

v1 = Kecepatan angkut (km/jam)

v2 = Kecepatan kembali (km/jam)

t1 = Waktu *dumping*

t2 = Waktu atur posisi muat

Produktivitas Excavator

Produktivitas produksi *excavator* dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$Q = q \times \frac{3600}{CM} \times E \dots\dots\dots (16)$$

Dimana:

Q = Produktivitas per jam (m³/jam)

q = Produktivitas (m³)

E = Efisiensi kerja

Cm = Waktu siklus (menit)

= *Circle time* minute waktu yang diperlukan dari saat mulai menggali, mengangkat, kemudian menumpahkan diatas *dump truck*.

Produktivitas Hydraulic Breaker

Menurut Permen PU No 1 Tahun 2022 [7], untuk menghitung produktivitas *breaker excavator*, dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Q = \frac{V \times Fb \times Fa \times 60}{Ts} \dots\dots\dots (17)$$

Dimana:

Q = Produktivitas (m³/jam)
 V = Kapasitas *breaker*
 Fb = Faktor *breaker*
 Fa = Faktor efisiensi alat
 Ts = Waktu siklus (menit)

Manajemen K3L

Kesehatan kerja adalah suatu keadaan atau kondisi badan/tubuh yang terlindungi dari segala macam penyakit atau gangguan yang diakibatkan oleh pekerjaan yang dilaksanakan. Dalam dunia pekerjaan segala kendala kerja harus dihindari, sementara produktivitas yang optimal merupakan keinginan setiap pengusaha konstruksi, dengan demikian sasaran keuntungan akan dapat dicapai [8]. Salah satu sistem manajemen K3 (Keselamatan dan Kesehatan Kerja) yang berlaku secara global atau internasional adalah OHSAS 18001;2007. Menurut OHSAS 18001, manajemen K3 adalah upaya terpadu untuk mengelola risiko yang ada dalam aktivitas perusahaan yang dapat mengakibatkan cedera pada manusia, kerusakan atau gangguan terhadap perusahaan. Manajemen risiko terbagi atas tiga bagian yaitu *Hazard Identification, Risk Assessment, and Risk Control* (HIRARC) [9].

Penjadwalan

Penjadwalan dalam proyek konstruksi adalah proses merencanakan dan menetapkan urutan kegiatan serta waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan suatu proyek konstruksi. Pengaruh perencanaan terhadap proyek konstruksi akan berdampak pada keberhasilan dan pendapatan dalam proyek itu sendiri [10].

Rencana Anggaran Biaya

Rencana Anggaran Biaya (RAB) adalah dokumen perencanaan yang mengidentifikasi, menghitung, dan menyusun perkiraan biaya yang diperlukan untuk menyelesaikan suatu proyek atau kegiatan. RAB proyek mempunyai fungsi dan manfaat lebih lanjut dalam hal mengendalikan sumberdaya material, tenaga kerja, peralatan dan waktu pelaksanaan proyek sehingga pelaksanaan kegiatan proyek yang dilakukan akan mempunyai nilai efisiensi dan efektivitas [11].

METODE

Penelitian ini memerlukan data kuantitatif berupa gambar kerja, harga, spesifikasi alat dan material serta data kualitatif berupa metode kerja dan peraturan. Data kuantitatif didapatkan melalui studi dokumen milik penyedia jasa dan konsultan. Sementara data kualitatif didapatkan melalui

wawancara dengan ahli yang berkompeten di bidang tersebut beserta studi literatur.

Pengolahan data diantaranya shop drawing, bill of quantity, data distribusi material konstruksi, peta topografi, spesifikasi bahan peledak, alat berat yang digunakan, harga satuan pekerjaan konstruksi, serta data teknis proyek. Pengolahan data tersebut akan digunakan untuk perhitungan produktivitas masing-masing metode yaitu blasting dan mekanis, identifikasi strategi pelaksanaan galian, penjadwalan galian, pengendalian K3L, serta perhitungan rencana anggaran biaya.

2. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembersihan Lahan

Proses pembersihan mencakup serangkaian langkah yang meliputi penghapusan material dan vegetasi yang menghalangi akses serta penghilangan potensi bahaya yang dapat mempengaruhi keberhasilan operasi galian. Pekerjaan ini melibatkan penggunaan alat berat diantaranya *Excavator Komatsu PC200, Bulldozer Shantui SD13, dan Dump Truck 10T*.



Gambar 1. Area Pembersihan Lahan

Luasan area pembersihan lahan ditunjukkan pada gambar diatas berdasarkan perhitungan di AutoCAD didapatkan 30452,24 m².

Tabel 1. Perhitungan Produktivitas Pembersihan Lahan

No	Nama Alat	Produktivitas alat berat	Produksi alat berat terbesar	Jumlah alat berat (unit)	Dibulatkan (unit)
		A	b	b/a	
1	Bulldozer Shantui SD13	129,23	129,23	1	1
2	Excavator Komatsu PC200	86,056	129,23	1,502	2
3	Dump Truck 10T	48,76	129,23	2,65	3

Sumber: Hasil Perhitungan

Berdasarkan perhitungan diatas, maka didapatkan harga satuan pekerjaan untuk pembersihan lahan sebesar Rp21.939,79 per m².

Pengeboran

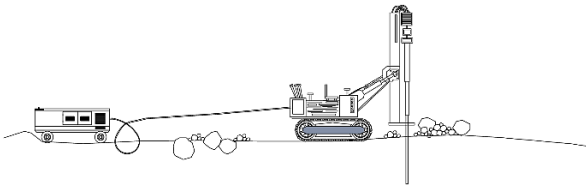
Volume serta jumlah lubang ledak yang akan dikerjakan di lapangan berdasarkan perhitungan geometri peledakan sebelumnya. Pelaksanaan pekerjaan pengeboran dilaksanakan 8 jam efektif dalam satu hari.

Berikut merupakan perhitungan mengenai produktivitas tiap alat untuk pekerjaan pengeboran lubang ledak:

Kecepatan pemoran rata-rata	= 0,7 meter/menit
Waktu mesin bor ke titik pemoran	= 3,5 menit
Waktu menembus batuan	= 5 menit
Waktu stop	= 3 menit
Waktu delay	= 2,5 menit
Waktu siklus pemoran (CT)	= 14 menit
Faktor efisiensi alat (Fa)	= $W/(W+R+S)$
	= $480/(480+80)$
	= 0,85

Kapasitas alat (V1) = 1,2

Berdasarkan pendekatan di lapangan, dalam 1 kali siklus mempunyai waktu total 14 menit, sehingga dalam 1 jam terdapat 4,29 kali siklus (60 menit/14 menit). Dalam waktu 8 jam efektif (berdasarkan perhitungan hambatan), didapatkan target 34,3 lubang/hari (8 x 4,29) yang berarti memenuhi target lubang 30/hari. Berdasarkan perhitungan diatas, maka didapatkan harga satuan pekerjaan untuk pengeboran lubang ledak sebesar Rp.4.903,27 per m³.



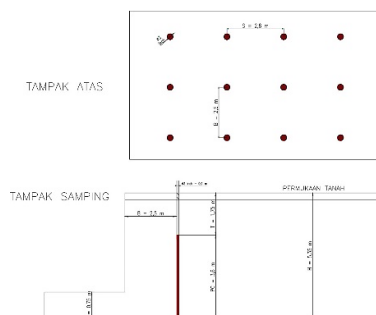
Gambar 2. Visualisasi Pengeboran Lubang Ledak Peledakan

Perencanaan geometri peledakan dilakukan guna eksploitasi material pada struktur lapisan spillway Bendungan Bagong Trenggalek menggunakan metode kombinasi analisis C.J Konya (1990). Berikut merupakan hasil perhitungan geometri peledakan dengan diameter lubang 3 inch:

Tabel 2. Hasil Perhitungan Geometri Peledakan

Geometri	Ukuran	Satuan
Burden (B)	2,5	meter
Spacing (S)	2,8	meter
Stemming (T)	1,75	meter
Subdrilling (J)	0,75	meter
Kedalaman Lubang Ledak (H)	5,35	meter
Tinggi Jenjang (L)	4,6	meter

Sumber: Hasil Perhitungan

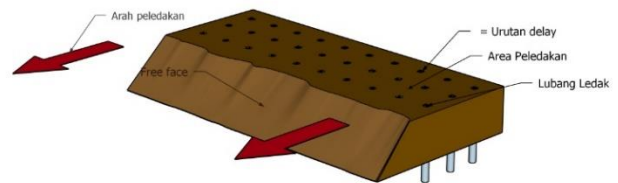


Gambar 3. Geometri Peledakan

Hasil perhitungan bahan peledak didapatkan:

1. Volume target peledakan
 $V_t = 1118,82 \text{ m}^3/\text{hari}$
2. Volume tiap lubang ledak
 $V_l = 37,45 \text{ m}^3$
3. Jumlah lubang ledak
 $n = 30 \text{ lubang/hari}$
4. Loading density
 $d_e = 3,9 \text{ kg/m}$
5. Panjang kolom isian
 $P_C = 3,6 \text{ m}$
6. Jumlah bahan peledak (Q)
 $Q = 416,88 \text{ kg/hari}$
Q tiap lubang:
 $Q = P_C \times d_e$
 $= 3,6 \times 3,86$
 $= 13,896 \text{ kg}$

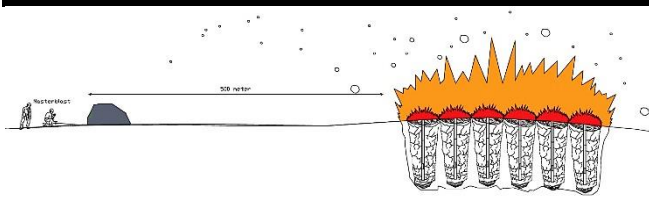
Terdapat 30 kali peledakan per bulan, sehingga:
 $Q = 416,88 \times 30$
 $= 12.605,4 \text{ kg/bulan}$



Gambar 4. Visualisasi Pola Peledakan

Berikut merupakan perhitungan mengenai target produksi beserta hasil peledakan:

1. Target produksi
Target jumlah material yang diledakkan dihitung dari luas area dan kedalaman lubang ledak:
 $V = 32,2 \text{ m}^3$
Berat batuan yang diledakkan (ton)
 $V \times SGr = 32,2 \text{ m}^3 \times 2,3 \text{ ton/m}^3$
 $= 74,06 \text{ ton}$
Pelaksanaan peledakan tiap bulan sebanyak tiga puluh (30) kali
 $V = 74,06 \text{ ton} \times 30 \text{ hari} \times 30 \text{ lubang ledak}$
 $= 66654 \text{ ton/bulan}$
2. Delay
 $t_h = T_h \times S$
 $t_h = 5,5 \times 2,8$
 $t_h = 15,4 \text{ ms}$
3. Fragmentasi
 $X = a \times \left(\frac{V}{Q}\right)^{0,8} \times Q^{0,17} \times \left(\frac{E}{115}\right)^{-0,63}$
 $X = 8,67 \times \left(\frac{32,2}{13,896}\right)^{0,8} \times 13,896^{0,17} \times \left(\frac{100}{115}\right)^{-0,63}$
 $X = 26,563 \text{ cm} \approx 27 \text{ cm}$



Gambar 5. Visualisasi Pekerjaan Peledakan

Dari analisis tersebut didapatkan harga analisis satuan pekerjaan:

Tabel 3. Analisis Harga Satuan Pekerjaan Peledakan

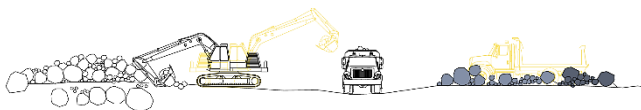
No	Item	Satuan	Volume	Harga Satuan	Jumlah Harga
I PEKERJA					
1	Mandor	jam	0,0031	Rp 34.175,00	Rp 106,13
2	Ahli Peledakan	jam	0,0031	Rp 49.375,00	Rp 153,34
3	Powderman	jam	0,0062	Rp 15.025,00	Rp 93,32
4	Pekerja Khusus	jam	0,0031	Rp 14.212,50	Rp 44,14
5	Watchman	jam	0,0031	Rp 14.387,50	Rp 44,68
Subtotal I					Rp 441,61
II MATERIAL					
1	ANFO	kg	0,3726	Rp 15.519,00	Rp 5.782,48
2	Explosive dynamite	kg	0,0820	Rp 90.000,00	Rp 7.377,61
3	Electric detonator	pcs	0,0820	Rp 54.000,00	Rp 4.426,56
4	Leg wire superdet	pcs	0,0820	Rp 10.000,00	Rp 819,73
Subtotal II					Rp 18.406,38
III PERALATAN					
1	Blasting Machine Kobla 200D	jam	0,0031	Rp 38.888,89	Rp 120,77
2	Ohm Meter	jam	0,0031	Rp 9.722,22	Rp 30,19
Subtotal III					Rp 150,97
Total					Rp 18.998,96

Sumber: Hasil Perhitungan

Perhitungan ditinjau dari hasil perhitungan pada geometri peledakan yaitu target 30 lubang per hari dengan 30 hari efektif per bulan. Target durasi selesai dalam 360 hari efektif. Berdasarkan perhitungan diatas, maka didapatkan harga satuan pekerjaan untuk peledakan sebesar Rp18.998,96 per m³.

Pekerjaan Penggalian dan Pengangkutan

Pekerjaan penggalian dan pengangkutan merupakan pekerjaan galian pasca peledakan dilakukan. Alat berat yang digunakan untuk menggali adalah *Excavator Komatsu PC 200* serta akan dimasukkan kedalam *Dump Truck 10T* kapasitas 30 m³ kemudian diangkut menuju stockpile. Ketentuan waktu sesuai jadwal adalah 8 jam kerja efektif dalam 1 hari kerja, dengan jumlah hari kerja 6 hari dalam satu minggu.



Gambar 6. Visualisasi Gali dan Angkut Material

Tabel 4. Analisis Harga Satuan Pekerjaan Gali Angkut

No	Nama Alat	Produktivitas alat berat	Produksi alat berat terbesar	Jumlah alat berat (unit)	Kebutuhan (unit)
		1	2	1/2	
1	Excavator Komatsu PC 200	82,653	82,653	1	2
2	Dump Truck 10T	43,99	82,653	1,879	4

Sumber: Hasil Perhitungan

Dilakukan penyesuaian kebutuhan unit *excavator* dan *dump truck* berdasarkan produktivitas yang dihasilkan dari pekerjaan peledakan. Berdasarkan perhitungan diatas, maka didapatkan harga satuan pekerjaan untuk peledakan sebesar Rp34.656,01 per m³.

Pemecahan Batuan

Ketentuan sesuai jadwal adalah dalam satu hari kerja digunakan waktu kerja efektif 8 jam, serta jumlah hari kerja 6 hari dalam seminggu.

Berikut merupakan perhitungan produktivitas *Excavator Komatsu PC 200* dengan *hydraulic breaker*:

$$\text{Bucket capacity standart (q1)} = 1 \text{ m}^3$$

$$\text{Bucket factor (K)} = 0,8$$

$$\text{Waktu gali} = 6,5 \text{ detik}$$

$$\text{Waktu putar (load)} = 9 \text{ detik}$$

$$\text{Waktu buang} = 4,5 \text{ detik}$$

$$\text{Waktu putar (empty)} = 5 \text{ detik}$$

$$\text{Efisiensi kerja (E)} = 0,8 \text{ (baik)}$$

Perhitungan produktivitas *Excavator Komatsu PC 200*:

Produksi per siklus:

$$q = q1 \times K = 1 \times 0,8 = 0,8 \text{ m}^3$$

Waktu siklus:

$$\text{Waktu gali} + \text{waktu putar (load)} + \text{waktu buang} + \text{waktu}$$

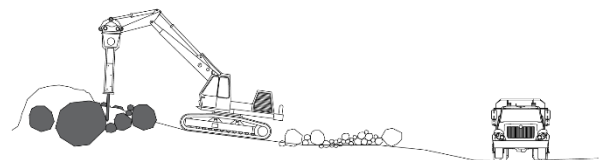
$$\text{Putar (empty)} = 6,6 + 9 + 4,5 + 5$$

$$= 25 \text{ detik}$$

$$= 0,42 \text{ menit}$$

Produktivitas alat (Q1):

$$\text{Cm} = q + 3600/\text{Cm} + E = 0,8 + 3600/25 + 0,8 = 92,16 \text{ m}^3/\text{jam}$$



Gambar 7. Visualisasi Pemecahan Batuan

Hydraulic Breaker

$$\text{Diameter breaker} = 11,5 \text{ cm}$$

$$\text{Kapasitas breaker (V)} = 0,8 \text{ m}^3$$

$$\text{Breaker factor (Fb)} = 1$$

$$\text{Faktor efisiensi alat (Fa)} = 0,83 \text{ (baik)}$$

$$\text{Jarak angkut (D)} = 1700 \text{ m}$$

$$\text{Waktu Siklus (Ts)}$$

$$\text{Waktu drill (T1)} = 1 \text{ menit (sampai titik)}$$

remuk)
 Waktu settle (T2) = 0,1 menit
 Waktu siklus (T1+T2) = 1,1 menit
 Perhitungan produktivitas *hydraulic breaker*:
 Produktivitas per jam (Q2):

$$C_m = (V \times F_b \times F_a \times 60) / T_s$$

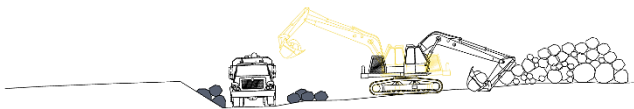
$$= (0,8 \times 1 \times 0,83 \times 60) / 1,1$$

$$= 36,22 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Didapatkan produktivitas *hydraulic breaker* sebesar 36,22 m³/jam. Berdasarkan perhitungan diatas diperoleh analisis harga satuan pekerjaan untuk pemecahan batuan secara mekanis sebesar Rp.44.655,87 per m³.

Pekerjaan Penggalian dan Pengangkutan

Pekerjaan penggalian dan pengangkutan merupakan pekerjaan galian pasca penghancuran dilakukan. Alat berat yang digunakan untuk menggali adalah *Excavator Komatsu PC 200* serta akan dimasukkan kedalam *Dump Truck 10T* kapasitas 30 m³ kemudian diangkut menuju stockpile. Ketentuan waktu sesuai jadwal adalah 8 jam kerja efektif dalam 1 hari kerja, dengan jumlah hari kerja 6 hari dalam satu minggu.



Gambar 8. Visualisasi Gali dan Angkut Material

Tabel 5. Analisis Harga Satuan Pekerjaan Gali Angkut

No	Nama Alat	Produktivitas alat berat	Produksi alat berat terbesar	Jumlah alat berat (unit)	Kebutuhan (unit)
		1	2	1/2	
1	Excavator Komatsu PC 200	86,40	86,40	1	1
2	Dump Truck 10T	48,05	86,40	1,80	2

Sumber: Hasil Perhitungan

Berdasarkan perhitungan diatas, maka didapatkan harga satuan pekerjaan untuk peledakan sebesar Rp16.576,53 per m³. Dilakukan penyesuaian kebutuhan unit *excavator* dan *dump truck* berdasarkan produktivitas yang dihasilkan dari pekerjaan peledakan. Target produksi pekerjaan pemecahan batuan secara mekanis adalah 859,25 m³/hari sementara produktivitas yang dihasilkan dari penggalian material menggunakan *Excavator Komatsu PC200* adalah 691,22 m³/hari. Oleh karena itu, tidak dilakukan penambahan unit alat berat namun durasi pekerjaan mekanis akan mengikuti kebutuhan durasi pekerjaan penggalian dan pengangkutan material.

Penjadwalan

3. KESIMPULAN

Penyusunan penjadwalan menggunakan aplikasi microsoft project untuk menganalisis rangkaian item pekerjaan yang ada pada masing-masing metode untuk selanjutnya mengurutkan hubungan ketergantungan setiap item pekerjaan beserta analisis durasi yang telah ditentukan. Pada Ms. Project hubungan ketergantungan dikenal dengan istilah predecessor sebagai pendahulu dan successors sebagai penerus.

Perhitungan dengan Batasan

Untuk membandingkan secara seimbang antara kebutuhan produksi galian antara metode *blasting* dan metode mekanis *hydraulic breaker*, maka akan diberikan batasan mengenai durasi pekerjaan menjadi 360 hari (sesuai durasi peledakan), sehingga terdapat penyesuaian sebagai berikut:

Durasi awal pekerjaan pemecahan mekanis 375 hari ditargetkan menjadi 360 hari, sehingga target produksi berubah dari 859,3 m³/hari menjadi 895,1 m³/hari. Dikarenakan target produksi per hari untuk pemecahan mekanis tidak terlampu jauh setelah dilakukan persamaan durasi, sehingga tidak dibutuhkan penambahan *hydraulic breaker*. Sementara untuk mencapai 360 hari, pada pekerjaan penggalian dan pengangkutan dengan produktivitas 691,2 m³/hari akan ditambahkan 1 unit *Excavator Komatsu PC200* dan *Dump Truck 10T* serta penyesuaian personel saat volume galian telah terselesaikan 50% dengan target produktivitas menjadi 1382,4 m³/hari setelah penambahan alat berat.

Penyesuaian alat dan pekerja dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Volume target awal} = 322.220,55 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume target 0-50\%} = 161110,275 \text{ m}^3$$

$$\text{Target durasi selesai} = 161110,275 \text{ m}^3 / 691,2 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$= 233 \text{ hari}$$

$$\text{Volume target 50-100\%} = 161110,275 \text{ m}^3$$

$$\text{Target durasi selesai} = 161110,275 \text{ m}^3 / 1382,4 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$= 117 \text{ hari}$$

$$\text{Target durasi total} = 350 \text{ hari}$$

K3L

Berdasarkan tabel HIRADC, untuk rangkaian item pekerjaan metode peledakan didapatkan total nilai risiko sebesar 580 dengan tingkat risiko awal 7,44. Setelah dilakukan pengendalian awal perkiraan tingkat risiko akan turun menjadi 4,3. Sementara untuk rangkaian item pekerjaan metode mekanis didapatkan total nilai risiko sebesar 360 dengan tingkat risiko awal 6,97. Setelah dilakukan pengendalian awal perkiraan tingkat risiko akan turun menjadi 4,2.

Kesimpulan yang diperoleh dari hasil Perbandingan Penggunaan Metode *Blasting* dan Alat Mekanis (*Hydraulic Breaker*) Pada Pekerjaan Galian Spillway Bendungan Bagong Trenggalek adalah sebagai berikut:

1. Penggunaan metode yang dalam konteks penelitian ini adalah metode *blasting* dan mekanis, keduanya memiliki penerapan metode serta hasil yang berbeda baik dalam segi produktivitas, kemudahan, waktu, biaya, yang semuanya menyesuaikan kondisi pada proyek. Metode *blasting* lebih sesuai apabila terdapat lapisan batuan yang cukup dalam dan keras, dimana efisiensi waktu menjadi prioritas utama, namun ukuran material hasil peledakan akan sulit untuk diprediksi. Sementara metode pada mekanis lebih sesuai untuk pekerjaan pemecahan yang dapat dikontrol secara langsung dan berkala termasuk pada kondisi material, getaran dan kebisingan yang ditimbulkan, serta untuk area yang lebih kecil dan sensitif terhadap lingkungan.
2. Dari segi durasi, pelaksanaan metode *blasting* membutuhkan durasi yang lebih cepat ketimbang pelaksanaan metode mekanis menggunakan *breaker* untuk pekerjaan galian pelimpah dengan target volume 322220,55 m³. Pelaksanaan metode *blasting* diperkirakan menghasilkan produksi material sebesar 1118,82 m³/hari dengan durasi 360 hari efektif. Sementara pelaksanaan metode mekanis diperkirakan menghasilkan produksi material sebesar 859,26 m³/hari dengan durasi 375 hari efektif.
3. Dari segi biaya, pelaksanaan metode mekanis membutuhkan biaya lebih besar yaitu sebesar Rp33.469.744.648,79 daripada pelaksanaan metode *blasting* Rp 31.106.081.375,63 untuk keseluruhan item pekerjaan.
4. Dari segi Kesehatan Keselamatan Kerja dan Lingkungan, melalui analisis metode HIRADC pelaksanaan metode *blasting* memiliki tingkat risiko lebih tinggi daripada pelaksanaan metode mekanis dengan rasio 1: 0,93.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Sulistiyono, "MODIFIKASI GEOMETRI PELEDAKAN (BLASTING) UNTUK MENINGKATKAN EFEKTIVITAS PELEDAKAN (BLASTING) DI QUARRY Studi Kasus : Proyek Pembangunan Bendungan Tugu," Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, 2022.
- [2] I. Agnesty, B. Purwoko, and F. Meilasari, "Kajian Biaya Peledakan pada Proses Pembongkaran Batuan Granit di PT Hansindo Mineral Persada," Pontianak, 2022.
- [3] H. Prayogo, "Prediksi Getaran Tanah Akibat dari Kegiatan Peledakan pada Pertambangan Pt Kaltim Jaya Bara di Kabupaten Berau, Kalimantan Timur," Jakarta, 2020.
- [4] Safarudin, Purwanto, and Djamaluddin, "Analisis Pengaruh Geometri Peledakan Terhadap Fragmentasi dan Digging Time Material Blasting," 2016.
- [5] A. T. Tenriajeng, *Pemindahan Tanah Mekanis*. Jakarta: Gunadarma, 2003.
- [6] T. Wahyudi, A. Nirmala, and M. Khalid Syafrianto, "Productivity Study Of Hydraulic Breaker Excavator, PT Hansindo Mineral Persada, Sungai Pinyuh District, Mempawah District, West Kalimantan Province," vol. 23, no. 4, pp. 529–534, 2023, doi: 10.26418/jts.v23i4.67.
- [7] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, *Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) Bidang Umum*. Indonesia: Pedoman Penyusunan Perkiraan Biaya Pekerjaan Konstruksi Bidang Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat, 2022.
- [8] M. Khamim and M. Zenurianto, "SISTEM MANAJEMEN KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA PADA PROYEK KONSTRUKSI BENDUNGAN SESUAI DENGAN PERMEN PUPR NO.10 TAHUN 2021," *Jurusan Teknik Ilmu Dan Aplikasi*, 2022.
- [9] P. R. Karima, "ANALISIS TINGKAT RISIKO KESELAMATAN KERJA DENGAN MENGGUNAKAN METODE HIRADC PADA PEKERJAAN GALIAN TIMBUNAN (Studi Kasus : Proyek Tol Sol - Yogyakarta Nyia Kulon Progo Paket 1.1 STA 21+365 – 22+300)," Universitas Islam Indonesia, 2023.
- [10] W. I. Ervianto, "MANAJEMEN PROYEK KONSTRUKSI," ANDI Yogyakarta, 2005, p. 161.
- [11] A. Bambang Siswanto and M. Afif Salim, "Manajemen Proyek," Semarang: Pilar Nusantara, 2019, p. 37. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/339787455>