2026, Vol. 4, No. 3, pp. 964-983
E-ISSN: 3025-9444

Analisis Perubahan *Borrow Area* Material Inti Terhadap Harga Satuan Pekerjaan Timbunan pada Proyek Pembangunan Bendungan Jragung, Kabupaten Semarang

Ima Fisriyanto [1]✉, Muhammad Zaki [2]
(1,2) Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Trisakti, Indonesia

Abstrak: Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh perubahan borrow area material inti terhadap harga satuan pekerjaan timbunan pada Proyek Bendungan Jragung, Kabupaten Semarang. Metode penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif-deskriptif dengan data primer berupa hasil uji laboratorium tanah dan data sekunder dari dokumen proyek. Sampel ditentukan melalui purposive sampling pada tiga lokasi borrow area dengan total 15 titik uji. Analisis dilakukan melalui evaluasi teknis dan ekonomis terhadap kesesuaian material, ketersediaan volume, serta dampak perubahan sumber material terhadap biaya pekerjaan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa material pada borrow area awal tidak memenuhi spesifikasi teknis dan mengalami kekurangan volume sebesar 294.896,45 m^3 akibat kandungan kerikil, lapisan tuffaan, dan tanah organik. Material alternatif dari Gunung Mergi dengan jarak angkut 23–25 km memenuhi persyaratan teknis, namun menyebabkan peningkatan harga satuan pekerjaan dari Rp115.860,00 menjadi Rp248.478,00 akibat bertambahnya jarak angkut dan kebutuhan pengelolaan material menggunakan stockpile. Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi aspek teknis material, ketersediaan volume, dan dampak ekonomi perubahan borrow area dalam satu kerangka evaluasi. Hasil penelitian memberikan dasar pengambilan keputusan dalam pemilihan sumber material dan estimasi biaya konstruksi bendungan yang lebih akurat.

Article history:
Received: 29 June 2026
Revised: 27 July 2026
Accepted: 29 July 2026
Published: 31 July 2026

Kata Kunci:
borrow area, material inti, bendungan, harga satuan, geoteknik

Abstract: *This study aims to analyze the effect of changes in the borrow area of core material on the unit price of embankment work in the Jragung Dam Project, Semarang Regency. The research employed a quantitative-descriptive approach using primary data from soil laboratory test results and secondary data obtained from project documents. Samples were selected through purposive sampling from three borrow area locations with a total of 15 testing points. The analysis involved technical and economic evaluations of material suitability, volume availability, and the impact of borrow area changes on construction costs. The results showed that the initial borrow area material did not meet technical specifications and experienced a volume shortage of 294,896.45 m^3 due to gravel content, tuffaceous layers, and organic soil. An alternative material source from Gunung Mergi, located 23–25 km from the project site, was selected and met the required technical specifications. However, the change in material source increased the unit price of embankment work from IDR 115,860.00 to IDR 248,478.00 due to longer hauling distances and additional material management requirements, including stockpile utilization to maintain moisture content. The novelty of this study lies in integrating technical material suitability, volume availability, and economic impacts of borrow area changes within a single evaluation framework. The findings provide a practical basis for material source selection, risk management of borrow area changes, and more accurate cost estimation in dam construction projects.*

Keywords:
borrow area, core material, dam, unit price, geotechnics

This is an open-access article under the CC-BY-SA License.

How to cite: Fisriyanto, I., & Zaki, M. (2026). Analisis Perubahan Borrow Area Material Inti Terhadap Harga Satuan Pekerjaan Timbunan pada Proyek Pembangunan Bendungan Jragung, Kabupaten Semarang. *RESWARA: Jurnal Riset Ilmu Teknik*, *4*(3), 964–983. https://doi.org/10.70716/reswara.v4i3.689

✉ *Corresponding author:* ***imafisriyanto78@gmail.com***
Copyright © 2026, the author(s)

PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur sumber daya air seperti bendungan merupakan bagian penting dari strategi nasional dalam menjamin ketersediaan air baku, pengendalian banjir, dan peningkatan ketahanan pangan (Karisman & Adipraja, 2018). Pemerintah Indonesia melalui Kementerian Pekerjaan Umum (PU) telah menetapkan pembangunan Bendungan Jragung di Kabupaten Semarang sebagai salah satu proyek strategis nasional (PSN) yang bertujuan untuk mendukung sistem irigasi, penyediaan air baku, serta pengendalian banjir di wilayah hilir Sungai Jragung. Secara administrasi Pembangunan Bendungan Jragung berada di Desa Candirejo Kecamatan Pringapus Kabupaten Semarang pada 110^0 32' 42.5"BT dan 7^0 09'006"LS. Bendungan Jragung akan dibangun di sisi hulu Sungai Jragung yang merupakan induk dari 2 anak sungai yaitu Sungai Klampok, Sungai Meranak. Daerah tangkapan sungai untuk Bendungan Jragung seluas 94 km^2, panjang sungai 35 km dengan pendataan curah hujan dicatat di 5 stasiun pencatat curah hujan, Stasiun Gunung Mergi, Stasiun Jatirunggo, Stasiun Bawen, Stasiun Ambarawa dan Stasiun Jragung.

Bendungan Jragung dirancang sebagai bendungan urugan zonal (*zoned embankment dam*), dengan zona inti kedap air (*impervious core*) yang terbuat dari material tanah lempung berplastisitas sedang hingga tinggi. Zona inti ini berfungsi mencegah terjadinya rembesan air melalui tubuh bendungan. Keberhasilan fungsi hidrolik dan stabilitas struktur bendungan sangat bergantung pada kesesuaian sifat fisik, mekanik, dan hidrolik dari material inti tersebut. Gambar 1 menjelaskan bagaimana peta Lokasi Bendungan Jragung. Secara regional, wilayah ini tersusun atas satuan batuan berumur Miosen hingga Holosen yang meliputi Satuan Batulempung Formasi Kerek, Satuan Napal Formasi Kalibeng, endapan vulkanik Gunung Ungaran, serta endapan aluvial muda yang menempati dataran sungai Jragung. Karakter geologi tersebut menunjukkan adanya variasi litologi yang signifikan, mulai dari batupasir, batulanau, hingga breksi vulkanik, yang masing-masing memiliki tingkat pelapukan dan sifat geoteknik berbeda (Putri et al., 2023). Variasi ini berpengaruh pada daya dukung fondasi, kestabilan lereng, serta respons material terhadap beban timbunan bendungan (Ibrahim, 2024).

Kehadiran sesar dan kekar (*shear joints*) tersebut menjadi perhatian utama dalam evaluasi kestabilan lereng karena dapat menurunkan integritas massa batuan dan meningkatkan potensi pergerakan blok batuan pada zona yang terlapukkan (Rifanie Gazalie et al., 2022). Dalam konteks geologi teknik, pemetaan menunjukkan bahwa beberapa satuan batuan berada pada kondisi lapuk sedang hingga lapuk tinggi, sehingga memerlukan mitigasi khusus terutama pada zona-zona kritis di sekitar main dam dan area genangan (Olofinyo et al., 2024). Kajian geoteknik terhadap massa batuan di area fondasi menunjukkan nilai kualitas batuan yang bervariasi dari kelas C rendah (CL) hingga kelas C sedang (CM), berdasarkan klasifikasi geologi teknik standar (Karyawan et al., 2023). Uji *Standard Penetration Test* (SPT) pada beberapa titik menunjukkan nilai N-SPT lebih dari 50, menandakan adanya lapisan batuan yang cukup kuat untuk menahan beban timbunan bendungan. Selain itu, uji Water *Pressure Test* (WPT) menghasilkan nilai Lu > 20, yang mengindikasikan tingkat permeabilitas dan kekuatan batuan yang berada dalam kategori baik untuk fondasi bendungan urugan zonal. Analisis daya dukung fondasi berdasarkan metode Terzaghi menunjukkan kapasitas mencapai sekitar 50,6 juta ton, sedangkan metode Bowles memberikan nilai sekitar 44,7 juta ton, yang keduanya berada di atas total beban timbunan bendungan yang diperkirakan sebesar 18,48 juta ton.

Dari sisi stabilitas lereng, Bendungan Jragung yang memiliki tinggi rancangan sekitar 59,5 meter termasuk dalam klasifikasi risiko ekstrem (kelas IV), sehingga analisis kestabilan lereng menjadi aspek

Copyright © 2026, the author(s). This is an open access article under the CC-BY-SA License.

kritis dalam perencanaan teknisnya. Evaluasi menggunakan perangkat lunak geoteknik menunjukkan bahwa variasi litologi, tingkat pelapukan, serta keberadaan struktur geologi merupakan elemen yang paling memengaruhi faktor keamanan lereng bendungan. Salah satu faktor paling krusial dalam pembangunan bendungan urugan adalah pemilihan dan pengelolaan sumber material timbunan atau borrow area. Borrow area merupakan lokasi sumber bahan galian tanah yang digunakan untuk konstruksi tubuh bendungan. Sumber material ini harus memenuhi kriteria teknis tertentu seperti permeabilitas rendah ($k < 10^{-7}$ cm/s), indeks plastisitas sedang (10–35%), dan kandungan lempung lebih dari 30% (Butchibabu et al., 2023). Selain itu, faktor jarak angkut, volume material yang tersedia, dan kondisi geoteknik lapangan menjadi pertimbangan penting dalam perencanaan borrow area (Birhanu et al., 2024).

Dalam praktiknya, kondisi aktual di lapangan sering kali berbeda dari hasil investigasi awal. Perbedaan tersebut dapat menyebabkan perubahan lokasi borrow area, baik karena keterbatasan volume material yang tersedia, ketidaksesuaian sifat tanah terhadap spesifikasi desain, maupun faktor lingkungan dan perizinan lahan. Perubahan ini menimbulkan dua konsekuensi utama: (1) perubahan volume material inti yang dapat digunakan, dan (2) perubahan kualitas material yang berpotensi memengaruhi hasil uji laboratorium dan desain teknis bendungan. Kedua aspek tersebut pada akhirnya dapat berpengaruh terhadap harga satuan pekerjaan yang tercantum dalam kontrak konstruksi. Dalam proyek pembangunan Bendungan Jragung, kondisi serupa terjadi. Berdasarkan laporan resmi dari Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Pemali Juana, terdapat perubahan dalam pengelolaan borrow area yang semula direncanakan di sekitar area waduk menjadi lokasi lain karena faktor teknis dan ketersediaan lahan. Perubahan ini tercermin dalam dokumen "Serah Terima Pinjam Pakai Sementara Tanah Waduk/*Borrow Area* Bendungan Jragung" yang dikeluarkan oleh BBWS Pemali Juana tahun 2023.

Inti kedap air (*impervious core*) adalah komponen vital dalam bendungan urugan berzona (*zoned earth dams*) karena berfungsi sebagai penghalang untuk mengurangi rembesan air (*seepage*) hingga batas yang dapat diterima. Kegagalan rembesan adalah salah satu penyebab utama kegagalan bendungan urugan, menyumbang sekitar 30%–50% dari total kegagalan. Oleh karena itu, pemilihan material inti yang tepat sangat penting untuk keselamatan bendungan. Penggunaan material yang tersedia secara lokal sangat relevan karena dapat menghemat biaya dan mempercepat waktu konstruksi. Selain itu, perubahan jarak sumber material menyebabkan perubahan biaya angkut, sehingga mempengaruhi harga satuan pekerjaan (*unit rate*) yang telah disepakati dalam kontrak proyek (Merdassa et al., 2024). Namun demikian, penelitian mengenai perubahan *borrow area* yang dikaitkan secara simultan antara volume material, hasil uji tanah, dan harga satuan pekerjaan masih relatif terbatas, khususnya pada proyek bendungan besar di Indonesia. Padahal, pemahaman menyeluruh terhadap keterkaitan ketiga aspek tersebut sangat diperlukan untuk memastikan keberlanjutan pelaksanaan proyek dan efisiensi penggunaan sumber daya (Arbad et al., 2023). Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini berfokus pada analisis perubahan *borrow area* material inti pada proyek pembangunan Bendungan Jragung, yang mencakup evaluasi terhadap perubahan volume material yang tersedia, analisis hasil uji tanah dari lokasi baru, serta pengaruhnya terhadap harga satuan pekerjaan dalam kontrak proyek. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman komprehensif mengenai hubungan antara aspek teknis dan ekonomis dalam pengelolaan sumber material inti timbunan bendungan data.

Copyright © 2026, the author(s). This is an open access article under the CC-BY-SA License.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif-deskriptif yang dilaksanakan di Proyek Bendungan Jragung, Kabupaten Semarang, dengan fokus pada zona inti bendungan dan perubahan sumber material dari beberapa *borrow area* (A, B, dan C) yang memiliki karakteristik geoteknik berbeda. Teknik pengambilan sampel menggunakan purposive sampling karena titik pengujian dipilih pada lokasi yang mewakili karakteristik geologi, kondisi topografi, dan potensi material pada masing-masing *borrow area*. Sebanyak 15 titik uji ditetapkan berdasarkan hasil investigasi awal lapangan, yang mencakup tiga lokasi *borrow area* dengan distribusi lima titik uji pada setiap lokasi. Jumlah tersebut dinilai memadai untuk merepresentasikan variasi sifat material pada setiap *borrow area* karena seluruh zona yang berpotensi digunakan sebagai material inti telah terwakili melalui sebaran titik pengujian.

Pendekatan ini memungkinkan evaluasi yang komprehensif terhadap kesesuaian material, estimasi volume, dan variasi karakteristik tanah sebagai dasar penentuan sumber material alternatif.. Variabel penelitian terdiri dari variabel bebas berupa volume rencana dan hasil uji tanah, serta variabel terikat berupa keberterimaan material dan harga satuan pekerjaan. Penelitian dilakukan melalui tiga tahap, yaitu persiapan (pengumpulan data dan penentuan lokasi), pengumpulan data lapangan dan laboratorium (pengambilan sampel, uji tanah sesuai standar ASTM/SNI, serta survei volume), dan analisis (perbandingan hasil uji dengan spesifikasi teknis, evaluasi perubahan volume, serta analisis dampak terhadap biaya konstruksi). Metode pengumpulan data meliputi studi dokumen, observasi lapangan menggunakan GPS dan drone, pengambilan sampel tanah (disturbed dan undisturbed), serta pengujian laboratorium untuk menentukan sifat fisik dan mekanik tanah, yang kemudian digunakan untuk menilai kelayakan material sebagai inti bendungan serta dampak perubahan sumber material terhadap aspek teknis dan ekonomis proyek.

Perhitungan biaya mencakup komponen tenaga kerja, material, peralatan, dan biaya operasional yang dipengaruhi oleh perubahan lokasi sumber material. Koefisien penggunaan peralatan ditentukan berdasarkan kapasitas produksi masing-masing alat, waktu siklus (*cycle time*), efisiensi kerja, jam kerja efektif, dan kondisi lapangan yang mengacu pada spesifikasi teknis proyek serta pedoman Analisis Harga Satuan Pekerjaan Bidang Pekerjaan Umum. Parameter analisis dipilih karena merupakan faktor yang paling berpengaruh terhadap perubahan harga satuan pekerjaan akibat perpindahan *borrow area*, yaitu jarak angkut material, volume material yang tersedia, kesesuaian sifat geoteknik hasil pengujian laboratorium, kapasitas produksi alat, kebutuhan pengelolaan material, dan waktu operasi. Parameter-parameter tersebut digunakan untuk mengevaluasi dampak teknis dan ekonomis perubahan sumber material terhadap biaya pekerjaan timbunan secara menyeluruh.

Tabel 1. Pengujian Laboratorium Material Borrow Area

Jenis Pengujian	Standar ASTM/SNI	Parameter yang Diukur	Spesifikasi Material Inti
Analisis ukuran butir	ASTM D6913 / SNI ASTM D6913	Distribusi ukuran butir	Kandungan lempung sesuai desain
Kadar air alami	ASTM D2216 / SNI ASTM D2216	Water Content (%)	Digunakan untuk evaluasi kadar air optimum
Berat jenis tanah	ASTM D854 / SNI ASTM D854	Specific Gravity (Gs)	Sebagai parameter karakteristik tanah

Copyright © 2026, the author(s). This is an open access article under the CC-BY-SA License.

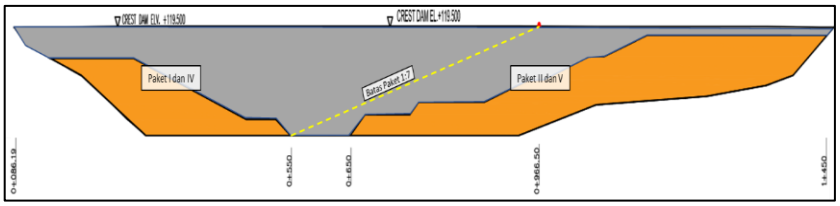
Batas Atterberg	ASTM D4318 / SNI ASTM D4318	LL, PL, PI	PI 15–35%
Uji pemadatan Proctor	ASTM D698 / SNI ASTM D698	OMC dan MDD	Menentukan kondisi pemadatan optimum
Permeabilitas	ASTM D5084	Koefisien permeabilitas	k ≤ 10^{-7} cm/s
Klasifikasi tanah	ASTM D2487	USCS	Tanah lempung berplastisitas sedang–tinggi

Seluruh pengujian laboratorium dilakukan sesuai standar ASTM/SNI yang berlaku untuk menjamin konsistensi dan reliabilitas data. Parameter yang dipilih merupakan persyaratan utama material inti bendungan, meliputi plastisitas, permeabilitas, kadar air, karakteristik gradasi, serta parameter pemadatan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Lingkup Pekerjaan Timbunan Inti

Berdasarkan kondisi aktual di lapangan realisasi pekerjaan timbunan yang sudah dikerjakan yaitu pada sandaran kiri dan kanan, sehingga menyisakan pekerjaan pada area tengah maindam Sta 0+550 s/d 0+650. Sesuai dengan gambar potongan memanjang di bawah ini.



Gambar 1. Penampang memanjang timbunan inti

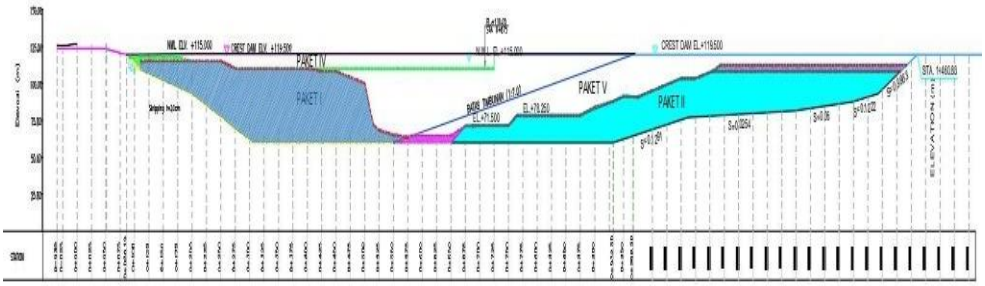
Kebutuhan Volume Timbunan Inti

Volume kebutuhan untuk material timbunan inti sebesar 1.172.608,81 m3. Volume total pekerjaan timbunan sampai dengan saat ini dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. volume total pekerjaan timbunan inti

No	Nama Item	Sat.	Volume Pekerjaan	Realisasi 14 Feb '25	Sisa Volume
1	Timbunan inti Paket I	m3	528,261.95	319,379.03	208,882.90
2	Timbunan inti Paket II	m3	390,194.20	390,194.20	-
3	Timbunan inti Paket IV	m3	37,527.70	1,717.96	35,809.74
4	Timbunan inti Paket V	m3	216,624.96	34,787.79	181,837.17
	JUMLAH		1,172,608.81	746,078.98	426,529.83

Copyright © 2026, the author(s). This is an open access article under the CC-BY-SA License.



Gambar 2. Long section realisasi 14 Februari 2025

Berdasarkan Tabel 2 dan Gambar 2, pekerjaan timbunan inti baru mencapai 746.078,98 m^3 atau sekitar 63,6% dari total kebutuhan sebesar 1.172.608,81 m^3. Masih terdapat kekurangan volume sebesar 426.529,83 m^3 yang harus dipenuhi agar pekerjaan inti bendungan dapat diselesaikan. Kondisi ini menunjukkan bahwa ketersediaan material dari *borrow area* awal belum mampu memenuhi seluruh kebutuhan konstruksi sehingga diperlukan investigasi sumber material alternatif.

Ketersediaan Volume Timbunan Inti

Diketahui dari jumlah potensi material inti dari BA candirejo, BA genangan 1 dan BA genangan 2 sebesar 1.692.471,00 m3 setelah dilakukan excavasi dan pekerjaan timbunan inti saat ini hanya terpenuhi sebesar 746.078,98m3. Sehingga masih terdapat kekurangan untuk material inti sebesar 426.529,83 m3. Selanjutnya untuk memenuhi kekurangan material inti dilakukan investigasi tambahan pada borrow area genangan didapatkan tambahan potensi sebesar 277.281,99 m3, yang di tunjukkan pada gambar di bawah ini.

Tabel 3. Potensi borrow material timbunan inti genangan 2

Lokasi	Keterangan Lokasi	Est. Volume Borrow Area (m^3)	Volume Digunakan (m^3)	Persentase (%)	Sisa Volume Borrow Area
Borrow Area Sudah Terkonfirmasi dari Hasil Uji Lab					
TP 5.4	Wadas Ngepruh	6,910	-	-	6,910
TP 8	Wadas Ngepruh	20,259	-	-	20,259
TP 1A	Wadas Ngepruh	818	-	-	818
Area 1	Belakang AP	34,227	-	-	34,227
Area 2	Belakang AP	8,910	-	-	8,910
Area 3	Mbah Tonjong	29,302	23,617	81%	5,685
Area 4	Sebrang Jembatan Pelangi	14,117	-	-	14,117

Copyright © 2026, the author(s). This is an open access article under the CC-BY-SA License.

Area 5	Sebrang Kantor AP	16,008	5,413	34%	10,595
Area 8	Carunggo	5,796	-	-	5,796
Area 6	Batching Plan Brantas	7,710	432	6%	7,278
Area 12	Wadas Kuning 1	13,628	-	-	13,628
Area 13	Wadas Kuning 2	40,905	-	-	40,905
Area 9	Kedung Glatik Sebrang Stockpile	15,497	-	-	15,497
Area 10	Hilir V-Notch	21,332	2,103	10%	19,229
TP 12	BA Ngepruh	4,207	-	-	4,207
TP 11	BA Ngepruh	2,619	-	-	2,619
TP NG 5	BA Ngepruh	1,880	-	-	1,880
TP NG 5	BA Ngepruh	479	-	-	479
TP 6	BA Ngepruh	743	-	-	743
TP 13	BA Ngepruh	1,118	-	-	1,118
Area 6.A	Batching Plan Brantas	11,242	-	-	11,242
Area 6.A Lanjutan	Batching Plan Brantas	15,098	-	-	15,098
Area 6.B	Kanan Batching Plan Brantas	7,833	-	-	7,833
Area 15	Belakang Kantor Brantas	15,050	-	-	15,050
Area 8.C	Carunggo	12,416	-	-	12,416
Area 8.D	Carunggo	10,549	-	-	10,549
Jumlah (Volume Padat)			**323,749**	**46,468**	**277,281**

Setelah dilakukan pengambilan pada borrow area yang tercantum pada gambar di atas material yang dapat dipakai untuk material timbunan inti sebesar 131.633,38 m^3, masih terdapat terdapat kekurangan material timbunan inti sebesar 294,896.45 m^3, sehingga masih di butuhkan material untuk mencukupi kebutuhan timbunan inti, dengan detail kebutuhan sebagai berikut.

Copyright © 2026, the author(s). This is an open access article under the CC-BY-SA License.

Tabel 4. Rekapitulasi Kebutuhan Volume Timbunan

Nama Item	Sat.	Volume Pekerjaan	Realisasi 14 Feb '25 material dalam genangan	Sisa Volume	Volume investigasi tambahan dalam genangan	Volume kebutuhan luar genangan
Timbunan inti Paket I	m3	528,261.95	319,379.03	208,882.92	131,633.38	77,249.54
Timbunan inti Paket II	m3	390,194.20	390,194.20	-	-	
Timbunan inti Paket IV	m3	37,527.70	1,717.96	35,809.74	-	35,809.74
Timbunan inti Paket V	m3	216,624.96	34,787.79	181,837.17	-	181,837.17
1,172,608.81	**746,078.98**		**426,529.83**	**131,633.38**	**294,896.45**	

Data tersebut menunjukkan bahwa optimalisasi sumber material dalam area genangan belum mampu memenuhi kebutuhan proyek. Oleh sebab itu, pencarian *borrow area* di luar kawasan genangan menjadi langkah yang diperlukan untuk menjamin kecukupan volume material inti.

Investigasi Material Inti di Luar Genangan

Setelah diketahui jumlah material dalam genangan yang tersisa tidak cukup untuk menyelesaikan Bendungan Jragung, maka dilakukan investigasi material di luar genangan dengan radius 0 s/d 5, 10 s/d 20 km, dan 20 s/d 30 km. seperti yang ditampilkan dalam gambar berikut ini.

a. Area Ngrapah

Ditinjau dari hasil investigasi awal diketahui propertis material tidak memenuhi memenuhi spesifikasi teknis berdasarkan nilai index platisitasnya. Serta ditinjau dari akses menuju borrow area tidak memungkinkan untuk dilewati kendaraan berat dengan jarak ± 6 km. Estimasi volume pada lokasi tersebut sebesar 12.000 m3. Selain itu pada area tersebut masih terdapat lahan pertanian yang dikelola warga.

Gambar 3. Hasil Investigasi Material Inti di Area Ngerapah

b. Area Faspro PU

Dari hasil investigasi awal diketahui ada propertis material yang tidak sesuai dengan spesifikasi teknis disebabkan oleh material pada area tersebut didominasi dengan material tanah yang bercampur fragment batuan dengan dimensi beragam, sehingga tidak ditindaklanjuti.

Copyright © 2026, the author(s). This is an open access article under the CC-BY-SA License.

Gambar 4. Hasil Investigasi Material Inti di Area Faspro PU

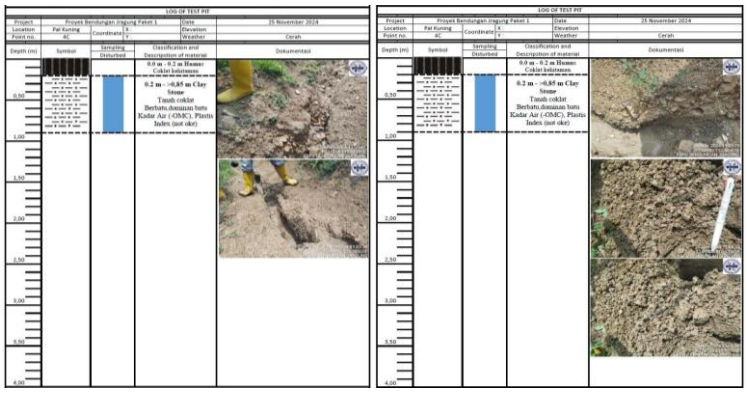
c. Area Hilir Kanan

Dari hasil investigasi awal diketahui ada propertis material yang tidak sesuai dengan spesifikasi teknis, disebabkan oleh material pada area tersebut didominasi dengan material tanah yang bercampur fragment batuan dengan dimensi beragam Sehingga explorasi tidak dilanjutkan.

Gambar 5. Hasil Investigasi Material Inti di Area Hilir Kanan

d. Area Palkuning

Dari hasil investigasi awal diketahui ada propertis material yang tidak sesuai dengan spesifikasi teknis disebabkan oleh material pada area tersebut di dominasi dengan material tanah yang bercampur fragment batuan. Sehingga tidak ditindaklanjuti.



Gambar 6. Hasil Investigasi Material Inti di Area Pal Kuning

Copyright © 2026, the author(s). This is an open access article under the CC-BY-SA License.

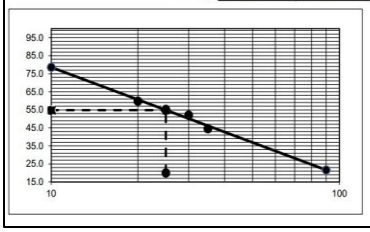
Investigasi material inti dengan radius 10 s/d 20 km

Pada lokasi dengan jarak 10 s/d 20 dilakukan test pit pada lokasi kaliulo dan gondorio, dari hasil visual di lapangan material memungkinkan untuk digunakan, namun dari hasil test diketahui nilai index plastisitas di bawah spesifikasi teknis yang disyaratkan (15%) serta, akses menuju lokasi borrow area sempit dan tidak memungkinkan untuk dilalui oleh kendaraan berat dan dekat pemukiman warga yang berpotensi konflik dengan warga serta belum ada izin tambang. Berikut merupakan hasil test index plastisitas material Gondorio dan Kaliulo.

ATTERBERG LIMITS

Date Test	10-Feb-25	Sample No.	
Location	KALIULO	Kordinat	
Material	Clay	Test by	Lab WIKA-BRP KSO
Material Source		Warna	Coklat Kemerahan

		LIQUID LIMIT				PLASTIC LIMIT	
TEST No.		1	2	3	4	1	2
Number of Blows		35	30	25	20		
Tare No.		43 / 24	31 / 5	15 / 20	1 / 13	40	30
Weight of Wet Soil + Tare (A)	gr	21.00 / 24.00	23.00 / 25.00	23.00 / 31.00	28.00 / 22.00	17.00	17.00
Weight of Dry Soil + Tare (B)	gr	19.00 / 21.20	20.00 / 21.60	20.10 / 25.30	23.20 / 19.40	16.50	16.20
Weight of Tare (C)	gr	14.44 / 14.99	14.35 / 14.95	14.90 / 14.86	15.09 / 15.10	15.44	14.50
Weight of Water D =(A-B)	gr	2.00 / 2.80	3.00 / 3.40	2.90 / 5.70	4.80 / 2.60	0.50	0.80
Weight of Dry Soil E=(B-C)	gr	4.56 / 6.21	5.65 / 6.65	5.20 / 10.44	8.11 / 4.30	1.06	1.70
Water Content F=(D/E*100)	%	43.86 / 45.09	53.10 / 51.13	55.77 / 54.60	59.19 / 60.47	47.17	47.06
Average		44.5	52.1	55.2	59.8	47.11	



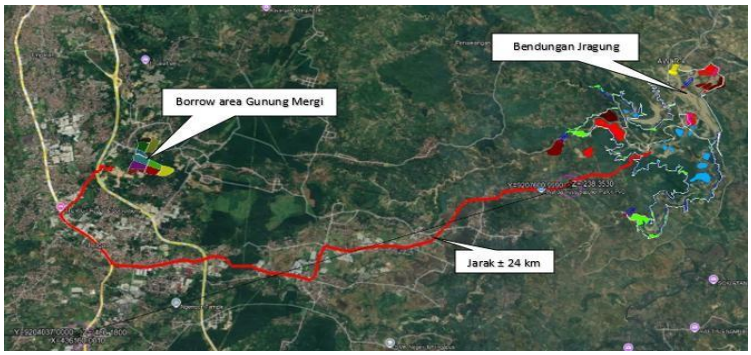
LIQUID LIMITS (%)
54.82
PLASTIC LIMITS (%)
47.11
PLASTIC INDEX (%)
7.70
SHRINKAGE LIMIT (%)
49.19
LINEAR SHRINKAGE (%)
21.80

Gambar 7. Hasil test index plastisitas material Gondorio dan Kaliulo

Hasil investigasi pada radius 0–20 km menunjukkan bahwa sebagian besar lokasi tidak memenuhi persyaratan sebagai *borrow area* material inti. Beberapa lokasi memiliki indeks plastisitas di bawah spesifikasi, material didominasi fragmen batuan, akses jalan yang tidak memadai untuk kendaraan berat, serta kendala penggunaan lahan dan perizinan. Temuan ini menunjukkan bahwa kedekatan lokasi terhadap proyek tidak selalu menjamin kelayakan suatu *borrow area*, karena aspek geoteknik dan operasional harus dipenuhi secara bersamaan.

Investigasi material inti dengan radius 20 s/d 30 km

Pada lokasi dengan jarak 20 s/d 30 km di lakukan investigasi pada area Gunung Mergi dengan detail peta tergambar sebagai berikut.



Gambar 8. Peta Lokasi Borrow Material Inti Area Gunung Mergi

Copyright © 2026, the author(s). This is an open access article under the CC-BY-SA License.

Untuk estimasi volume dari hasil test pit yang dilakukan ditampilkan dalam tabel berikut ini.

Tabel 5. Estimasi Potensi Material inti Borrow area Gunung Mergi

Lokasi	Titik	Luas	Kedalaman	Estimasi Volume	Sat
G. Mergi	AP 1	38,177.00	1.60	61,083.20	m^3
	Titik 3	62,419.00	1.65	102,679.26	m^3
	Titik 4	63,636.00	2.30	146,362.80	m^3
	Titik 5	56,747.00	1.78	100,725.93	m^3
	Titik 6	45,914.00	2.15	98,715.10	m^3
	Titik 7	66,377.00	2.35	155,985.95	m^3
Total Estimasi Volume AP 1				665,552.23	m^3
G. Mergi	AP 2	37,172.00	2.03	75,459.16	m^3
	Titik 1	69,431.00	1.40	97,203.40	m^3
	Titik 2	54,339.00	1.47	79,878.33	m^3
Total Estimasi Volume AP 2				252,540.89	m^3
Jumlah Volume				918,093.12	m^3

Gambar 8 dan Tabel 5 menunjukkan bahwa borrow area Gunung Mergi dipilih sebagai sumber material alternatif karena memiliki volume yang memadai serta memenuhi persyaratan teknis material inti bendungan. Walaupun jarak angkut lebih jauh dibandingkan borrow area awal, lokasi ini menjadi alternatif yang paling layak karena mampu menjamin kualitas material yang diperlukan untuk menjaga stabilitas dan fungsi kedap air pada inti bendungan.

Material Timbunan Inti

Tabel 6. Perbandingan material timbunan inti dalam genangan dan luar genangan

Material Timbunan Inti	Timbunan Inti dalam Genangan	Timbunan Inti Luar Genangan
Jarak	3,5 – 4 km (Paket I dan IV) 2 km (Paket II)	23 – 25 km
Sumber daya yang digunakan	– Borrow Area : Excavator, Dump truk – Lokasi Penimbunan : Bulldozer, Sheepfoot Roller, Water Tank – Pekerja borrow : 2 orang pekerja, 1 mandor. – Pekerja lokasi timbunan : 5 orang pekerja, 1 mandor.	- Borrow Area : Excavator, Dump Truk - Stock Pile : Excavator, Dump Truk - Lokasi Penimbunan : Bulldozer, Sheepfoot Roller, Water Tank - Pekerja borrow : 4 Orang pekerja, 1 mandor - Pekerja lokasi timbunan : 5 Orang pekerja, 1 mandor
Stock Pile	– Tidak Diperlukan	- Diperlukan Stockpile

Stokpile diperlukan karena untuk menjaga kadar air material inti lempung sesuai dengan spesifikasi yang disyaratkan pada Justifikasi Teknis No #47b tentang Perubahan Spesifikasi Material Timbunan, yaitu -1% sampai dengan +3% dari OMC. Pentingnya menjaga nilai kadar air sesuai dengan spsesifikasi teknis agar timbunan inti yang dihasilkan mencapai nilai kepadatan dan permeability yang direncanakan sesuai dengan trial embankment.

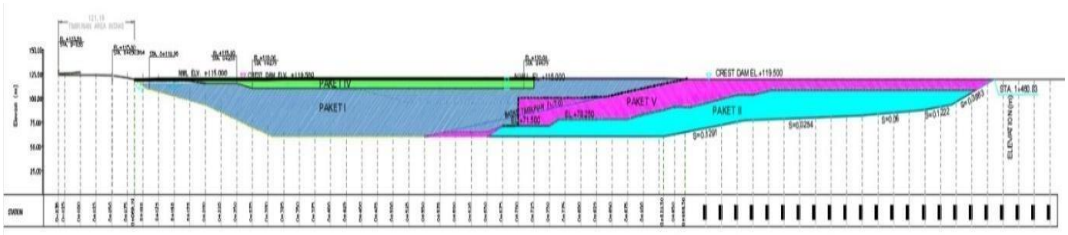
Copyright © 2026, the author(s). This is an open access article under the CC-BY-SA License.

Perubahan Terhadap Lokasi Penimbunan

Dikarenakan ada perubahan lokasi dan tipe material inti maka dilakukan penyesuaian lokasi, penyesuaian lokasinya adalah sebagai berikut:

Semula

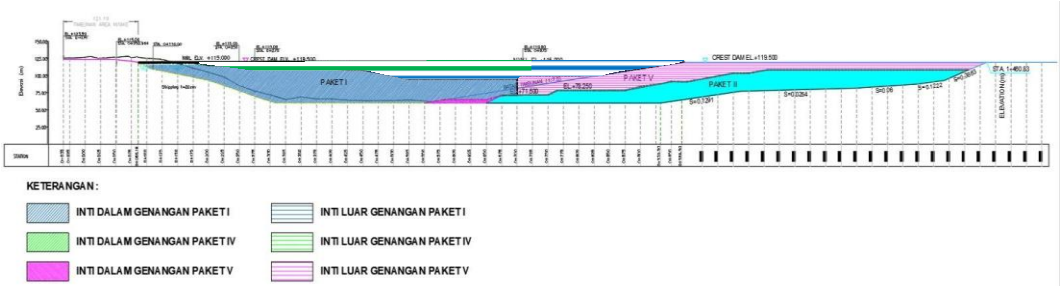
Berikut merupakan kondisi awal pembagian lokasi pekerjaan timbunan inti pada Paket I, II, IV dan V:



Gambar 9. long section awal timbunan inti di maindam

Menjadi

Berikut merupakan kondisi pembagian lokasi pekerjaan timbunan inti pada Paket I, II, IV dan V berdasarkan penempatan material inti dalam genangan dan luar genangan:



Gambar 10. long section perubahan timbunan inti di maindam berdasarkan penempatan material timbunan inti dalam genangan dan luar genangan

Berikut lokasi timbunan material genangan paket I,IV dan Paket V disajikan pada tabel di bawah ini:

Tabel 8. Lokasi timbunan inti luar genangan paket I,IV dan Paket V

No	Sta	Paket I		Paket IV		Paket V	
		Elevasi Mulai	Elevasi Akhir	Elevasi Mulai	Elevasi Akhir	Elevasi Mulai	Elevasi Akhir
1	0+086,19	117,720		117,720	119,000		
2	0+100	117,720		117,720	119,040		
3	0+125	117,820		117,820	119,140		
4	0+150	117,860		117,860	119,180		
5	0+175	117,910		117,910	119,230		
6	0+200	115,000		115,000	119,270		
7	0+225	115,000		115,000	119,350		
8	0+250	115,000		115,000	119,430		
9	0+275	109,920		109,920	119,480		
10	0+300	109,980		109,980	119,580		
11	0+325	110,000		110,000	119,600		
12	0+350	110,000		110,000	119,600		

Copyright © 2026, the author(s). This is an open access article under the CC-BY-SA License.

13	0+375	110,000		110,000	119,600		
14	0+400	110,000		110,000	119,600		
15	0+425	108,000	110,000	110,000	119,600		
16	0+450	108,000	110,000	110,000	119,600		
17	0+475	104,000	110,000	110,000	119,600		
18	0+500	100,000	110,000	110,000	119,600		
19	0+525	95,200	110,000	110,000	119,600		
20	0+550	95,200	110,000	110,000	119,600		
21	0+575	95,200	110,000	110,000	119,600		
22	0+600	95,200	110,000	110,000	119,600		
23	0+625	95,200	110,000	110,000	119,600		
24	0+650	95,200	110,000	110,000	119,600		
25	0+675	95,200	110,000	110,000	119,600		
26	0+700	95,200	110,000	110,000	119,600	71,500	100,200
27	0+725	100,200	110,000	110,000	119,600	71,676	100,200
28	0+750	100,200	119,600			71,452	100,200
29	0+775	100,200	119,600			71,399	100,200
30	0+800	100,200	119,600			71,623	100,200
31	0+839	101,220	119,600			78,213	100,250
32	0+850	102,857	119,600			78,341	102,857
33	0+875	106,429	119,600			78,341	106,429
34	0+900	110,000	119,600			83,993	110,000
35	0+932,50	114,606	119,600			87,792	114,606
36	0+950	117,143	119,580			91,457	117,143
37	0+975					90,874	119,550
38	1+000					96,034	109,511
39	1+025					100,147	119,479
40	1+050					103,825	119,446
41	1+075					103,738	119,427
42	1+100					107,330	119,420
43	1+125					111,894	119,413
44	1+150					111,959	119,406
45	1+175					111,893	119,400
46	1+200					111,894	119,393
47	1+225					111,733	119,386
48	1+250					111,894	119,378
49	1+275					111,894	119,363
50	1+300					111,897	119,348
51	1+325					111,969	119,333
52	1+350					112,110	119,316
53	1+375					112,017	119,283
54	1+400					111,894	119,230
55	1+425					112,107	119,133
56	1+450					115,260	119,000
57	1+460					119,000	119,000

Copyright © 2026, the author(s). This is an open access article under the CC-BY-SA License.

Perubahan Harga Kontrak

Jika semula jarak pengambilan quarry hanya 3,5km di dalam genangan menjadi 23,5km di luar genangan sehingga terdapat perbedaan metode dengan penambahan area stockpile pada jarak 1,5km dari Lokasi sehingga metode yang digunakan Adalah pengambilan dari quarry menuju stockpile lalu dari stockpile menuju embankment area. Adapun perubahan tersebut mempengaruhi koefisien pada peralatan Dump Truck sebagai berikut.

Tabel 9. Analisis Koefisen Dump Truck Eksisting (Borrow Area 3,5km)

Uraian	Kode	Koefisien	Satuan	Keterangan
Dump Truck, 24 ton (Hino FM 280 JD)				
Kapasitas bak	V	18,32	m^3	25 ton / BJ gembur tanah = 1.365 t/m^3
Faktor efisiensi alat	Fa	0,83	-	Tabel 7 - kondisi baik
Kecepatan rata-rata bermuatan	v1	10,00	km/Jam	Eviden di lapangan
Kecepatan rata-rata kosong	v2	20,00	km/Jam	Eviden di lapangan
Waktu siklus	Ts2		menit	
Waktu tempuh isi (L : v1) × 60	T1	23,76	menit	
Waktu tempuh kosong (L : v2) × 60	T2	11,88	menit	
Muat (V : Q1) × 60	T3	30,24	menit	
Lain-lain	T4	1,00	menit	
Total Waktu Siklus	**Ts2**	**66,88**	**menit**	
Kap. Prod./Jam = (V × Fa × 60) / Ts	**Q.2**	**13,64**	**m^3/Jam**	
Koefisien alat / m^3 = (1 : Q.2)		**0,0733**	**Jam**	

Pada saat menggunakan metode pengambilan Quarry dari dalam genangan, koefisien alat/m3 Dump Truck Adalah 0,0733 jam. Sehingga didapat analisis harga satuan pekerjaan timbunan eksisting Adalah sebagai berikut.

Tabel 10. Analisis Harga Satuan Pekerjaan Timbunn Eksisting

No.	Uraian	Kode	Satuan	Kuantitas/Koefisien	Harga Satuan Dasar (Rp.)	Jumlah Harga (Rp.)
A.	**Upah/Tenaga Kerja**					
	Pekerja	L.01	OH	0,0158	84.000,00	1.327,20
	Mandor	L.05	OH	0,0055	164.640,00	905,52
	Jumlah Harga Tenaga Kerja					**2.232,72**
B.	**Bahan/Material**					
	Jumlah Harga Bahan					-
C.	**Peralatan**					
	Borrow Area					
	Excavator/Backhoe, 0,7 m^3	E.07	Jam	0,0275	556.993,00	15.317,31
	Dump Truck, 24 ton	E.05	Jam	0,0733	831.685,00	60.962,51
	Stockpile					
	(tidak ada item)					
	Embankment Area					
	Bulldozer, 15 Ton	E.01	Jam	0,0232	675.577,00	15.673,39
	Water Tank Truck, 5000 liter	E.14	Jam	0,0055	297.845,00	1.638,15

Copyright © 2026, the author(s). This is an open access article under the CC-BY-SA License.

	Sheep Foot Roller	E.11	Jam	0,0110	447.403,00	4.921,43
	Jumlah Harga Peralatan					**98.512,78**
D	**Jumlah harga tenaga kerja, bahan dan peralatan (A+B+C)**					**100.745,50**
E	**Biaya Umum dan Keuntungan (15% × D)**			**15%**		**15.112,00**
F	**Harga Satuan Pekerjaan (D + E)**					**115.860,00**

Adapun perubahan borrow area menjadi 23,5km mempengaruhi metode dan koefisien pada dump truck sebagai berikut.

Tabel 11. Analisis Koefisien Dump Truck Borrow Area 23,5km

No.	Uraian	Kode	Koef.	Satuan	Keterangan
2.b	**BORROW AREADump Truck Kapasitas 25 ton**				
	Kapasitas bak	V	18,32	m^3	Hasil rerata kapasitas Bak Dump Truck Permen T1 MTD12 Angkut Material Hd 567 (pdf 29) *(perhitungan volume bak sesuai dimensi)*
	Faktor efisiensi alat	Fa	0,83	-	BA = Permen II Umum Tabel 7 Hal 75 (pdf 57)
	Kecepatan rata-rata bermuatan	v1	15,00	KM/Jam	Kondisi jalan baik = Permen II Umum Hal. 575 (pdf 57)
	Kecepatan rata-rata kosong	v2	30,00	KM/Jam	Kondisi jalan baik = Permen II Umum Hal. 575 (pdf 57)
	Waktu siklus	Ts2		menit	
	Waktu tempuh isi = (L : v1) × 60	T1	92,00	menit	
	Waktu tempuh kosong = (L : v2) × 60	T2	46,00	menit	
	Muat = (V : Q1) × 60	T3	28,93	menit	Permen T1 MTD12 Angkut Material Hd 567 (pdf 29)
	Lain-lain	T4	1,00	menit	Permen T1 MTD12 Angkut Material Hd 567 (pdf 29)
	Total Waktu Siklus	**Ts2**	**167,93**	**menit**	
	Kap. Prod./Jam = (V × Fa × 60) / Ts	**Q2**	**5,43**	**m^3/Jam**	Permen T1 MTD12 Angkut Material Hd 567 (pdf 29)
	Koefisien Alat / M^2 = 1 : Q2	**(E02)**	**0,1841**	**Jam**	

Koefisien dump truck menjadi 0,1841 jam, dan ada penambahan pengagkutan dari stockpile ke embankment area sebagai berikut.

Copyright © 2026, the author(s). This is an open access article under the CC-BY-SA License.

Tabel 12. Analisis Koefisien Excavator pada Area Stockpile Menuju Embankment Area

No.	Uraian	Kode	Koefisien	Satuan	Keterangan
2.c	Stockpile dan pengangkutanExcavator				
	Kapasitas bucket	V	0,800	m^3	
	Faktor bucket	Fb	1,200	-	Tabel 9
	Faktor efisiensi alat	Fa	0,830	-	Tabel 12
	Waktu siklus	Ts			
	- Mengisi	T1	0,250	menit	Kondisi galian 0 m–<2 m ringan (δs) + swing 45°–90° (4 s) + Muat ke dalam DT (5 s)
	- Lain-lain	T2	0,200	menit	Swing 45°–90° (7 s) + lain-lain (5 s)
	Total Waktu Siklus	**Ts**	**0,450**	**menit**	
	Kap. Prod./Jam = (V × Fa × Fb × 60) / Ts	**Q3**	**106,240**	**m^3/Jam**	
	Koefisien Alat / m^3 = 1 : Q1	**(E03)**	**0,0094**	**Jam**	

Tabel 13. Analisis Koefisien Dump Truck pada Area Stockpile Menuju Embankment Area

No.	Uraian	Kode	Koefisien	Satuan	Keterangan
2.d	Dump Truck 24 ton				
	Muatan diijinkan = 24 / D	V	18,32	m^3	
	Jarak stockpile – lokasi penimbunan	L2	1,60	Km	
	Faktor efisiensi alat	Fa	0,830	-	
	Kecepatan rata-rata bermuatan	v1	15,000	KM/Jam	
	Kecepatan rata-rata kosong	v2	30,000	KM/Jam	
	Waktu siklus	Ts2		menit	
	Waktu tempuh isi = (L2 : v1) × 60	T1	6,400	menit	248478
	Waktu tempuh kosong = (L2 : v2) × 60	T2	3,200	menit	
	Muat = (V : Q3) × 60	T3	10,344	menit	
	Lain-lain	T4	1,000	menit	
	Total Waktu Siklus	**Ts2**	**20,944**	**menit**	
	Kap. Prod./Jam = (V × Fa × 60) / Ts	**Q4**	**43,550**	**m^3/Jam**	
	Koefisien Alat / m^2 = 1 : Q2	**(E04)**	**0,0230**	**Jam**	

Sehingga perubahan analisis harga satuan pekerjaan timbunan menjadi sebagai berikut.

Tabel 14. Analisis Harga Satuan Pekerjaan Timbunan Perubahan (Borrow Area 23,5km)

No.	Uraian	Kode	Satuan	Kuantitas/Koefisien	Harga Satuan Dasar (Rp.)	Jumlah Harga (Rp.)
A	Upah/Tenaga Kerja					
	Pekerja	L.01	OH	0,0184	84.000,00	1.545,60
	Mandor	L.05	OH	0,0052	164.640,00	856,13
	Jumlah Harga Tenaga Kerja					**2.401,73**
B	Bahan/Material					
	Jumlah Harga Bahan					-
C	Peralatan					

Copyright © 2026, the author(s). This is an open access article under the CC-BY-SA License.

	Borrow Area					
	Excavator 0,80 m^3	E.06	Jam	0,0263	556.993,00	14.648,92
	Dump Truck 25 ton	E.02	Jam	0,1841	831.685,00	153.122,18
	Stockpile					
	Excavator 0,80 m^3	E.07	Jam	0,0094	556.993,00	5.235,73
	Dump Truck 25 ton	E.05	Jam	0,0230	831.685,00	19.097,34
	Embankment Area					
	Bulldozer, 15 Ton	E.01	Jam	0,0232	675.577,00	15.673,39
	Water Tank Truck	E.14	Jam	0,0049	297.845,00	1.459,44
	Sheep Foot Roller	E.11	Jam	0,0099	447.403,00	4.429,29
	Jumlah Harga Peralatan					**213.666,29**
D	Jumlah harga tenaga kerja, bahan dan peralatan (A+B+C)					**216.068,02**
E	Biaya Umum dan Keuntungan (15% × D)			**15%**		**32.410,00**
F	Harga Satuan Pekerjaan (D + E)					**248.478,00**

Sehingga terdapat perubahan harga pekerjaan timbunan dari yang harganya sebesar Rp. 115.860,00 menjadi Rp. 248.478,00, sehingga akan menyebabkan perubahan nilai kontrak. Maka skenario yang diambil adalah dengan menambahkan 10% dari nilai kontrak. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kebutuhan material inti Bendungan Jragung sebesar 1.172.608,81 m^3 tidak dapat dipenuhi sepenuhnya dari borrow area yang telah direncanakan pada tahap desain. Meskipun potensi awal material dalam genangan mencapai 1.692.471,00 m^3, hasil excavasi dan proses seleksi material menunjukkan bahwa hanya sebagian material yang memenuhi spesifikasi sebagai inti bendungan. Setelah dilakukan investigasi tambahan, material yang layak digunakan hanya sebesar 131.633,38 m^3 sehingga masih terdapat kekurangan sebesar 294.896,45 m^3. Kondisi ini menunjukkan bahwa estimasi volume berdasarkan investigasi awal belum sepenuhnya menggambarkan kualitas material aktual di lapangan. Dalam konstruksi bendungan urugan, keberhasilan pemanfaatan borrow area tidak hanya dipengaruhi oleh kuantitas material yang tersedia, tetapi juga oleh kesesuaian karakteristik geoteknik seperti kadar lempung, indeks plastisitas, permeabilitas, serta kandungan material organik yang berpengaruh terhadap stabilitas dan fungsi kedap air inti bendungan (Gon et al., 2026).

Investigasi pada beberapa alternatif borrow area dengan radius 0–5 km dan 10–20 km menunjukkan bahwa sebagian besar lokasi tidak memenuhi persyaratan teknis. Material di beberapa lokasi didominasi oleh campuran tanah dan fragmen batuan sehingga memiliki indeks plastisitas yang berada di bawah spesifikasi yang dipersyaratkan (Sentosa et al., 2023). Selain itu, keterbatasan akses jalan, keberadaan lahan pertanian maupun permukiman, serta belum tersedianya izin penambangan menjadi faktor yang membatasi pemanfaatan lokasi tersebut (Djarwadi et al., 2014). Hasil ini menunjukkan bahwa pemilihan borrow area merupakan proses multidimensi yang tidak hanya mempertimbangkan kualitas material, tetapi juga aspek operasional, sosial, dan legal (Sari et al., 2020). Oleh karena itu, investigasi sumber material perlu dilakukan secara komprehensif sejak tahap perencanaan agar perubahan lokasi borrow area selama pelaksanaan proyek dapat diminimalkan (Nugraha et al., 2021).

Copyright © 2026, the author(s). This is an open access article under the CC-BY-SA License.

Meskipun jarak angkut material meningkat menjadi sekitar 23–25 km, kualitas material yang diperoleh mampu menjamin tercapainya persyaratan kepadatan dan permeabilitas sesuai desain. Selain itu, penggunaan sistem stockpile menjadi bagian penting dari metode pelaksanaan karena material lempung harus dipertahankan pada kadar air optimum (Optimum Moisture Content/OMC) agar proses pemadatan menghasilkan inti bendungan dengan permeabilitas rendah. Hal ini memperlihatkan bahwa kualitas material memiliki pengaruh yang lebih dominan terhadap keamanan bendungan dibandingkan pertimbangan jarak pengangkutan semata (Mohammed Makkiyah et al., 2025).

Perubahan lokasi borrow area juga memberikan konsekuensi langsung terhadap metode konstruksi dan biaya pekerjaan. Bertambahnya jarak angkut menyebabkan waktu siklus dump truck meningkat sehingga produktivitas alat menurun. Koefisien penggunaan dump truck berubah dari 0,0733 jam/m^3 menjadi 0,1841 jam/m^3, yang menunjukkan meningkatnya waktu operasi untuk setiap satuan volume material yang diangkut. Selain itu, diperlukan tahapan tambahan berupa pengangkutan material dari borrow area menuju stockpile, kemudian dari stockpile menuju lokasi timbunan. Penambahan tahapan pekerjaan tersebut meningkatkan kebutuhan alat berat, tenaga kerja, serta biaya operasional sehingga harga satuan pekerjaan timbunan meningkat dari Rp115.860,00 menjadi Rp248.478,00 per m^3. Hasil ini menunjukkan bahwa perubahan sumber material tidak hanya memengaruhi aspek teknis, tetapi juga berdampak signifikan terhadap efisiensi biaya pelaksanaan konstruksi (Lamas et al., 2002).

Hasil analisis menunjukkan bahwa perubahan borrow area meningkatkan harga satuan pekerjaan timbunan secara signifikan. Peningkatan tersebut dipengaruhi oleh bertambahnya jarak angkut, meningkatnya waktu siklus alat berat, konsumsi bahan bakar, serta kebutuhan pengelolaan material melalui stockpile. Dengan demikian, perubahan lokasi sumber material tidak hanya memengaruhi aspek teknis, tetapi juga memberikan konsekuensi langsung terhadap efisiensi biaya konstruksi dan pelaksanaan proyek secara keseluruhan. Secara keseluruhan, temuan penelitian ini menegaskan bahwa keberhasilan pembangunan bendungan sangat dipengaruhi oleh ketepatan perencanaan borrow area sejak tahap awal proyek (Ji & Hu, 2019). Investigasi geologi, geoteknik, ketersediaan volume material, akses transportasi, serta analisis biaya perlu dilakukan secara terpadu agar risiko perubahan desain, keterlambatan pekerjaan, dan peningkatan nilai kontrak dapat diminimalkan (Fitria et al., 2025). Dengan demikian, evaluasi borrow area sebaiknya menjadi bagian integral dalam manajemen risiko proyek bendungan, terutama pada proyek berskala besar yang memerlukan volume material inti dalam jumlah sangat besar (Erlangga et al., 2024).

KESIMPULAN

Material dari borrow area awal tidak dapat memenuhi kebutuhan proyek karena sebagian volume tidak layak digunakan akibat adanya kandungan kerikil, lapisan tuffaan, dan tanah organik, sehingga terjadi kekurangan material inti sebesar 294.896,45 m^3. Hasil investigasi terhadap beberapa alternatif lokasi menunjukkan bahwa material dari Gunung Mergi dengan jarak angkut sekitar 23–25 km merupakan sumber yang paling memenuhi persyaratan teknis berdasarkan karakteristik geoteknik dan hasil pengujian laboratorium. Perubahan lokasi sumber material tersebut juga mengharuskan penerapan sistem stockpile untuk menjaga kadar air material agar tetap memenuhi spesifikasi teknis selama proses konstruksi.

Copyright © 2026, the author(s). This is an open access article under the CC-BY-SA License.

Perubahan borrow area berdampak langsung terhadap peningkatan harga satuan pekerjaan timbunan dari Rp 115.860,00 menjadi Rp 248.478,00 karena bertambahnya jarak angkut, perubahan metode pelaksanaan, serta kebutuhan peralatan dan pengelolaan material yang lebih kompleks. Temuan ini menunjukkan bahwa pemilihan borrow area tidak hanya ditentukan oleh ketersediaan volume material, tetapi juga harus mempertimbangkan kualitas material, jarak transportasi, dan konsekuensi biaya secara terpadu sejak tahap perencanaan. Dengan demikian, hasil penelitian ini memberikan implikasi praktis bagi perencana, kontraktor, dan pemilik proyek untuk melakukan investigasi material yang lebih komprehensif pada tahap awal guna meminimalkan risiko perubahan desain, keterlambatan pekerjaan, dan peningkatan biaya selama pelaksanaan konstruksi bendungan.

DAFTAR PUSTAKA

Arbad, A. P., Arifin, Z. N., Martina, N., Nindya, E. P., & Nurfa, M. A. (2023). Monitoring Work Progress Of Dam Construction Based On Photogrammetric Point Clouds And Bim: Practical Approach To Teaching Industry. *The International Archives Of The Photogrammetry, Remote Sensing And Spatial Information Sciences*, *Xlviii-5/W1-2023*, 1–5. Https://Doi.Org/10.5194/Isprs-Archives-Xlviii-5-W1-2023-1-2023

Birhanu, B., Chemeda, Y. C., Garo, T., & Karuppannan, S. (2024). Evaluation Of Watertightness And Slope Stability Analysis Of Upper Guder Dam, West Showa, Central Ethiopia. *Quaternary Science Advances*, *15*, 100230. Https://Doi.Org/10.1016/J.Qsa.2024.100230

Butchibabu, B., Jha, P. C., Sandeep, N., & Sivaram, Y. V. (2023). Seismic Refraction Tomography Using Underwater And Land Based Seismic Data For Evaluation Of Foundation Of Civil Structures. *Journal Of Applied Geophysics*, *210*, 104934. Https://Doi.Org/10.1016/J.Jappgeo.2023.104934

Djarwadi, D., Suryolelono, K. B., Suhendro, B., & Hardiyatmo, H. C. (2014). Selection Of Soils As Clay Core Embankment Materials For Rock Fill Dams To Resist Hydraulic Fracturing. *Procedia Engineering*, *95*, 489–497. Https://Doi.Org/10.1016/J.Proeng.2014.12.209

Erlangga, E., Sadono, K. W., & Putranto, T. T. (2024). Analisa Perbandingan Penurunan Awal Bendungan Tipe Material Timbunan Urugan Batu Dan Urugan Tanah (Studi Kasus Bendungan Digoel-Papua). *Bentang : Jurnal Teoritis Dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*, *12*(1), 83–96. Https://Doi.Org/10.33558/Bentang.V12i1.7876

Fitria, D. R., Latief, Y., Saleh, T., & Laksono, N. B. (2025). Optimizing Dam Maintenance: An Integrated Bim-Wbs Operational Model. *Journal Of Project Management Research*, *1*(1), 41–53. Https://Doi.Org/10.65303/Journalpmresearch.V1i1.14

Gon, K., Cornelis, R., & Rusdi, E. (2026). Kajian Kelayakan Material Gunung Sebagai Agregat Kelas S Pada Pekerjaan Lentur Jalan Raya. *Ge-Stram: Jurnal Perencanaan Dan Rekayasa Sipil*, *9*(1), 47–52. Https://Doi.Org/10.25139/Jprs.V9i1.10956

Ibrahim, I. O. (2024). Geo-Environmental Assessment: Evidence From Geotechnical And Chemical Insight For Irrigation Purpose, Nigeria. *The Progress: A Journal Of Multidisciplinary Studies*, *5*(4), 34–50. Https://Doi.Org/10.71016/Tp/4x1cj250

Ji, S., & Hu, T. (2019). Construction Simulation And Real-Time Monitoring Research Of Concrete Dam Based On Bim. *Iop Conference Series: Earth And Environmental Science*, *304*(5), 052056. Https://Doi.Org/10.1088/1755-1315/304/5/052056

Karisman, A., & Adipraja, R. (2018). Virtual Reality 3d Bendungan Pasar Baru Irigasi Cisadane Berbasis Desktop. *Jurnal Ilmiah Komputasi*, 1–8.

Karyawan, I. D. M. A., Hasyim, H., Widianty, D., & Yuniarti, R. (2023). Characteristics Of Asbuton Mix Using Geopolymer Fly Ash Coarse Aggregate As A Substitute For Natural Aggregates. *Jurnal Penelitian Pendidikan Ipa*, *9*(6), 4156–4163. Https://Doi.Org/10.29303/Jppipa.V9i6.3937

Copyright © 2026, the author(s). This is an open access article under the CC-BY-SA License.

Lamas, F., Irigaray, C., & Chacón, J. (2002). Geotechnical Characterization Of Carbonate Marls For The Construction Of Impermeable Dam Cores. *Engineering Geology*, *66*(3–4), 283–294. Https://Doi.Org/10.1016/S0013-7952(02)00048-0

Merdassa, S., Garo, T., Chemeda, Y. C., Karuppannan, S., & Tesfaye, M. (2024). Engineering Geological Investigation Of Gololcha Dam For Evaluation Of Leakage And Abutment Slope Stability, Eastern Ethiopia. *Scientific African*, *26*, E02381. Https://Doi.Org/10.1016/J.Sciaf.2024.E02381

Mohammed Makkiyah, H., Mohammed, T. A., & Abdulridha, R. I. (2025). Effect Of Core Type On Zoned Earth Dams On Total Water Head And Flux. *Pertanika Journal Of Science And Technology*, *33*(1). Https://Doi.Org/10.47836/Pjst.33.1.05

Nugraha, Hermawan, F. D., & Monica, S. (2021). Evaluation Of The Open Diversion Channel Capacity On Margatiga Dam Construction Project Using 6d Bim Analysis. *Iop Conference Series: Earth And Environmental Science*, *930*(1), 012045. Https://Doi.Org/10.1088/1755-1315/930/1/012045

Olofinyo, O. O., Franklin, O. O., Oluwatoyin, F. I., & Odebode, O. S. (2024). Geotechnical Investigation For Subsoil Hazard During Earth Fill Dam Construction. *Malaysian Journal Of Geosciences*, *8*(1), 17–25. Https://Doi.Org/10.26480/Mjg.01.2024.17.25

Putri, W. N., Kusumadi, K., & Nofriadi, N. (2023). Analisis Kelayakan Material Quarry Sungai Alas Sebagai Bahan Lapis Pondasi Atas Perkerasan Jalan. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Agregat*, *3*(2), 63–73. Https://Doi.Org/10.51510/Agregat.V3i2.1071

Rifanie Gazalie, Hawinuti, R., Muhammad Fauzi, & Muhammad Febri Adam Setiadi. (2022). Perhitungan Kualitas Agregat Menurut Abrasi Dan Berat Jenis, Pada Material Desa Ambungan. *Jurnal Gradasi Teknik Sipil*, *6*(1), 11–22. Https://Doi.Org/10.31961/Gradasi.V6i1.1340

Sari, Y. C., Wahyuningrum, C. A., & Kresnanto, N. C. (2020). Building Information Modeling (Bim) For Dams-Literature Review And Future Needs. *Journal Of The Civil Engineering Forum*, *6*(1), 61. Https://Doi.Org/10.22146/Jcef.51519

Sentosa, G. A., Azzaqy, A., Wardani, S. G., Setyandito, O., Ambiarto, A. S., Pierre, A. J., & Farell. (2023). Construction Scheduling And Monitoring Control Of Dams Based On Bim. *Iop Conference Series: Earth And Environmental Science*, *1169*(1), 012033. Https://Doi.Org/10.1088/1755-1315/1169/1/012033

Copyright © 2026, the author(s). This is an open access article under the CC-BY-SA License.