



Karakteristik dan Cadangan Perkiraan Potensi Marmer Gunung Nakaela (Taniwel)

Characteristics and Estimated Reserve Potential of Marble at Mount Nakaela (Taniwel)

Roberth Berthy Riry^{1*}, Rafael M Osok¹

¹Program Studi Pendidikan Geografi FKIP Universitas Pattimura

*Correspondence: riry.berthy@gmail.com

Article Info

Article history:

Received: 15-02-2025

Revised: 18-03-2025

Accepted: 13-03-2025

Published: 29-04-2025

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik geologi dan memperkirakan cadangan potensi marmer di Gunung Nakaela, Kecamatan Taniwel, Kabupaten Seram Bagian Barat, Provinsi Maluku. Marmer di kawasan ini terbentuk dari proses metamorfisme batugamping akibat tekanan dan temperatur tinggi. Hasil pengamatan lapangan menunjukkan bahwa marmer memiliki warna dominan putih, keabu-abuan, hingga kekuningan, serta komposisi mineral utama berupa kalsit dan karbonat. Terdapat pula kandungan fosil mikro yang memperkuat indikasi asal-usul sedimen karbonat. Berdasarkan estimasi luasan sekitar 1.200 hektar dan ketebalan rata-rata lapisan marmer 50 meter, diperoleh cadangan geologi sebesar $\pm 2.496.000.000$ ton. Kualitas dan tekstur marmer yang baik menjadikan daerah ini berpotensi dikembangkan sebagai kawasan pertambangan marmer berskala industri. Namun, potensi ini harus dikembangkan dengan memperhatikan aspek lingkungan dan keberlanjutan, serta melibatkan masyarakat adat setempat sebagai pemilik lahan ulayat. Rekomendasi strategis diperlukan agar eksploitasi sumber daya ini seimbang antara manfaat ekonomi dan perlindungan ekosistem lokal. Dengan pengelolaan yang bijak, potensi marmer Gunung Nakaela dapat menjadi sumber daya unggulan daerah.

Kata Kunci: Marmer, Cadangan Geologi, Taniwel.

ABSTRACT

This study aims to examine the geological characteristics and estimate the marble reserve potential in Mount Nakaela, Taniwel District, West Seram Regency, Maluku Province. The marble in this area is the result of metamorphosed limestone due to high pressure and temperature. Field observations revealed marble colors ranging from white, greyish to yellowish, with dominant mineral content of calcite and carbonate. Microfossil fragments further support its origin from carbonate sediment. Based on an estimated area of 1,200 hectares and an average marble thickness of 50 meters, the geological reserve is calculated to be approximately $\pm 2,496,000,000$ tons. Its high quality and good texture make the region suitable for large-scale industrial marble mining. However, development must consider environmental sustainability and respect the rights of local indigenous communities who own customary land. Strategic recommendations are essential to balance economic benefits with ecological protection. With responsible management, the marble potential of Mount Nakaela can become a leading regional resource.

Keywords: Marble, Geological Reserve, Taniwel



Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

PENDAHULUAN.

Marmer merupakan batuan metamorf hasil dari proses metamorfisme batugamping, proses metamorfisme yang terjadi dipengaruhi oleh suhu dan tekanan yang dapat menyebabkan perubahan pada struktur, tekstur dan mineralogi pada batugamping tersebut. Mineral utama penyusun marmer adalah kalsit (CaCO_3), dolomit dan mineral lainnya, seperti mineral lempung, mika, kuarsa, pirit, oksida besi, dan grafit. Kalsit sebagai penyusun batu gamping (*protolith marmer*) mengalami rekristalisasi pada proses metamorfosa. Karakteristik marmer dapat dipengaruhi oleh perbedaan proses metamorfisme yang terjadi dan dapat memberikan ciri khusus pada hasil batuanya baik dari sifat fisik maupun senyawa kimia.

Maluku merupakan salah satu provinsi di Indonesia yang dikenal memiliki kekayaan sumber daya alam yang melimpah, tidak hanya dalam sektor kelautan dan perikanan, tetapi juga dalam sektor pertambangan dan mineral. Salah satu potensi tambang yang mulai mendapat perhatian di wilayah ini adalah marmer. Marmer, sebagai batuan hasil metamorfisme dari batu gamping (limestone), memiliki nilai ekonomi tinggi karena kegunaannya yang luas, terutama dalam industri konstruksi, arsitektur, seni pahat, dan interior. Keindahan corak serta kekuatan fisiknya menjadikan marmer sebagai salah satu komoditas non-logam yang bernilai tinggi di pasar domestik maupun internasional.

Di antara wilayah-wilayah di Indonesia yang memiliki cadangan marmer, Maluku, khususnya Pulau Seram, mulai menunjukkan potensi besar. Beberapa kawasan yang telah diidentifikasi memiliki kandungan marmer adalah Kecamatan Taniwel di Kabupaten Seram Bagian Barat, dengan titik-titik utama seperti Gunung Nakaela, Gunung Lesiela (Kasieh), dan Gunung Patola (Saweli). Kawasan-kawasan ini memiliki karakteristik geologi yang menunjang, yakni dominasi batuan karbonat dan proses metamorfisme regional yang membentuk marmer berkualitas baik.

Berdasarkan hasil penelitian geologi, volume cadangan marmer di wilayah ini diperkirakan mencapai ratusan juta bahkan miliaran ton, menjadikannya sebagai salah satu potensi pertambangan marmer terbesar di kawasan Indonesia Timur.

Potensi marmer di Maluku tidak hanya dilihat dari sisi jumlah atau volume cadangan, tetapi juga dari sisi kualitas dan keragaman jenis. Beberapa sampel marmer dari kawasan Gunung Nakaela dan sekitarnya menunjukkan warna yang cerah (putih keabu-abuan hingga kekuningan), tekstur kristalin yang baik, dan kandungan mineral kalsit yang tinggi. Semua ini merupakan indikator bahwa marmer tersebut cocok untuk keperluan bahan bangunan dekoratif dan komersial. Selain itu, keberadaan mineral opak seperti magnetit atau pirit yang menyebar dalam jumlah kecil bisa menjadi indikasi potensi geologi yang lebih luas di kawasan tersebut.

Namun demikian, pengembangan potensi marmer di Maluku tidak terlepas dari berbagai tantangan. Salah satunya adalah adanya konflik antara kepentingan eksploitasi sumber daya alam dengan keberadaan masyarakat adat yang menempati wilayah tersebut secara turun-temurun. Gunung Nakaela, misalnya, selain dikenal sebagai kawasan kaya marmer, juga dianggap sebagai tanah adat dan tempat sakral oleh masyarakat Suku Nakaela. Mereka menggantungkan hidup pada ketersediaan air dari mata air di kawasan pegunungan tersebut dan menolak adanya aktivitas tambang karena khawatir akan menimbulkan kerusakan lingkungan, seperti hilangnya sumber air, erosi tanah, dan gangguan ekosistem hutan.

Dalam konteks ini, pendekatan pengelolaan sumber daya alam berbasis keberlanjutan dan partisipatif menjadi sangat penting. Eksplorasi dan pemanfaatan marmer di Maluku harus memperhatikan prinsip-prinsip pelestarian lingkungan dan menghormati hak-hak masyarakat adat. Upaya eksplorasi harus diawali dengan studi kelayakan yang melibatkan kajian sosial, budaya, dan lingkungan secara

komprehensif. Pemerintah daerah, investor, dan masyarakat lokal perlu duduk bersama dalam merancang kebijakan pertambangan yang adil dan berwawasan lingkungan.

Dengan demikian, potensi marmer di Maluku merupakan aset penting yang dapat mendorong pembangunan ekonomi daerah apabila dikelola secara bijak. Pemanfaatan sumber daya ini harus menjadi bagian dari strategi pembangunan berkelanjutan yang tidak hanya mengejar keuntungan ekonomi jangka pendek, tetapi juga memperhatikan keadilan sosial dan kelestarian lingkungan hidup di masa depan.

METODE PENELITIAN

Terdapat 4 (empat) metode dalam penelitian ini :

a. Metode referensi/studi literature.

Metode ini merupakan tahap persiapan meliputi :

- 1) Penyiapan peta - peta meliputi peta topografi Kabupaten Seram Bagian Barat skala 1: 100.000, peta geologi lembar Ambon skala 1 : 250.000 dan peta geologi lembar Masohi skala 1 : 250.000).
- 2) Alat dan bahan yang digunakan meliputi palu geologi, kompas geologi, GPS, larutan HCl, loupe, pahat, kantong sampel, alat tulis, meter dan camera.
- 3) Studi literatur atau pengumpulan data sekunder yang berkaitan dengan daerah penelitian (buku dan artikel - artikel dari internet).

b. Metode penyelidikan lapangan.

Metode penyelidikan secara langsung di lapangan meliputi pengamatan morfologi dan pemetaan permukaan terhadap bahan galian logam maupun non logam yang tersingkap di permukaan. Penyelidikan ini dilakukan dengan cara mencari, mencatat dan memplot penyebaran bahan galian pada peta dasar dan mengambil contoh sampel yang tersingkap untuk dianalisa.

c. Metode analisis laboratorium.

Analisis laboratorium dilakukan di Pusat Penelitian dan Pengembangan teknologi Mineral dan Batubara (PPPTMB)

Bandung. Analisa yang dilakukan pada sampel batuan dan tanah laterit meliputi analisa petrografi batuan, analisa poles batuan, analisa kimia batuan (AAS, Tetrimetri dan Fire Assay).

d. Evaluasi dan analisis data.

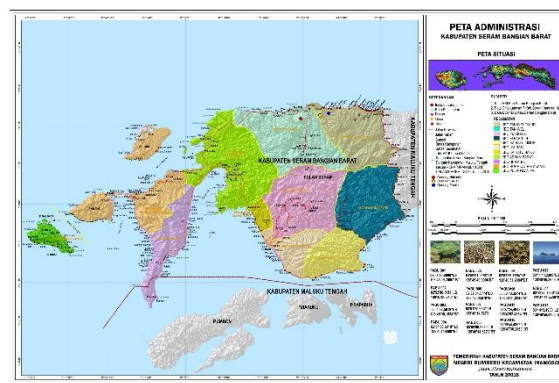
Pada metode ini dilakukan beberapa kegiatan yaitu kompilasi dan evaluasi data primer dan sekunder, digitasi peta (peta topografi dan peta geologi), analisis hasil laboratorium.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Letak dan Luas.

Gunung Nakaela berada dalam wilayah administratif Negeri Taniwel Kecamatan Taniwel, sedangkan Gunung Lasiela berada dalam wilayah administrative Negeri Kasieh Kecamatan Taniwel Timur dan Gunung Patola berada dalam wilayah administratif Negeri Saweli Kecamatan Taniwel Timur Kabupaten Seram Bagian Barat.

Secara astronomis Gunung Nakaela (Negeri Taniwel) berada pada koordinat 2°52'0,54"S dan 128°28'39,6"E. (Gambar 1).



Gambar 1. Peta Lokasi Gunung Nakaela.

Perhitungan Potensi.

Perhitungan cadangan marmer ini masih bersifat perkiraan (*possible*) yang dikaitkan dengan Interpretasi Penampang Geologi, bentuk endapan di lapangan, berat jenis rata - rata dan faktor kesalahan (*reduksi*).

Hasil interpretasi bentuk endapan dari Penampang Geologi adalah bentuk kerucut sehingga perhitungan cadangannya menggunakan rumus :

$$V = L \times 1/3 t \times B_j \times R$$

Keterangan :

V = Volume/Isi

L = Luas alas

t = Tinggi

Bj = Berat Jenis

R = Reduksi

Volume Cadangan Perkiraan (*possible*) Marmer Gunung Nakaela.

Perhitungan Isi atau Volume Cadangan Perkiraan (*possible*) Marmer Gunung Nakaela (Negeri Taniwel) sebagai berikut :

Luas alas = 1.200 Ha atau 12.000.000. m²

Tinggi = 780 m dpl.

Berat Jenis = 1,6.

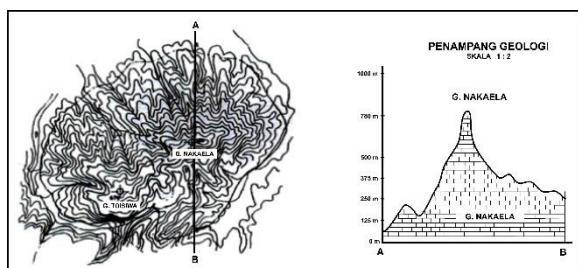
Reduksi = 50 %.

Volume/isi cadangan perkiraan (*possible*) Gunung Nakaela sebagai berikut :

$V = L \times 1/3 \times t \times Bj \times R$

$V = 12.000.000. m^2 \times 1/3 \times 780 m \text{ dpl} \times 1,6 \times 50\%.$

$V = 2.496.000.000 \text{ Ton (dua milyar empat ratus sembilan puluh enam juta ton).}$



Gambar 2. Kontur dan Penampang Geologi Gunung Nakaela (Negeri Taniwel).

Pembahasan.

Karakteristik marmer di wilayah Taniwel secara mikroskopis yaitu dengan ciri - ciri berwarna abu - abu, non foliasi, bentuk butir anhedral - subhedral, dengan komposisi batuan marmer terdiri atas kristal kalsit, karbonat halus, fragmen fosil dan kandungan mineral opak, berbentuk granoblastik dan tekstur porfiroblastik, pada beberapa tempat tampak hadir mineral opak.

Mineral opak adalah mineral yang tidak tembus cahaya (tidak transparan atau translusen) bahkan dalam irisan tipis di bawah mikroskop petrografi cahaya biasa.

Biasanya memiliki warna gelap dan reflektif. Contoh mineral opak yang sering ditemukan dalam marmer dan batuan metamorf yaitu Magnetit (Fe_3O_4), Hematit (Fe_2O_3), Ilmenit ($FeTiO_3$), Pirit (FeS_2) serta Sulfida dan oksida logam berat lainnya. Ciri dan posisi Mineral Opak dalam Marmer umumnya hadir dalam bentuk butiran kecil, tersebar acak atau mengikuti retakan dan foliasi batuan, dapat mempengaruhi warna dan nilai estetika marmer, terutama jika jumlahnya cukup banyak (menimbulkan bercak atau noda gelap). Di bawah mikroskop, mereka tidak menunjukkan birefringence dan tampak hitam atau sangat reflektif. Keberadaan mineral opak di dalam marmer adalah hasil dari proses geologis kompleks dan bisa menjadi petunjuk tentang asal usul dan kondisi metamorfisme batuan tersebut. Dalam jumlah kecil, mineral opak bisa menjadi bagian normal dari marmer. Namun, dalam jumlah besar, keberadaannya bisa mempengaruhi nilai komersial, ketahanan batu, dan bahkan lingkungan saat digunakan atau ditambang.

Hasil analisis Geokimia komposisi batuan dan mineral yang terkandung pada marmer di Gunung Nakaela (Negeri Taniwel) terdiri dari karbonat (48,94%), kalsit (38,57%), fragmen fosil (10,34%) dan mineral bijih/opak (2,15%). Kandungan mineral dari suatu batuan sangat dipengaruhi oleh formasi geologi kawasan tersebut. Gunung Lasiela (Kasieh) dan Gunung Patola (Negeri Saweli) sayatan berwarna abu-abu terang kekuningan klastik terpilah buruk, kemas tertutup dengan butiran membundarmenyudut tanggung, komposisi mineral terdiri atas fragmen fosil dan setempat ditemukan mineral opak yang tertanam didalam masa dasar mikrospari kalsit dan lumpur karbonat. Komposisi batugamping ini terdiri dari karbonat 65,73%, fragmen fosil 17,26%, mikrokristalin kalsit 12,98%, porositas 2,48% dan mineral opak 1,55% sehingga diklasifikasikan sebagai Batuan Batugamping Marmeran (*Wackestone*).

Kenampakkan megaskopis marmer dan batugamping di Kecamatan Taniwel dan Taniwel Timur secara umum adalah warna abu - abu (*Gunung Nakaela*), putih

kekuningan (*Gunung Lasiela dan Gunung Patola*) massif, sangat kompak, permukaan kadang – kadang dijumpai lapis dan fosil, di beberapa tempat adanya stalagtit, stalagmig, kekar dan pengotoran karena pelapukan dan pelarutan, tanpa tanah penutup atau kadang – kadang ketebalan tanah 2 – 20 cm, vegetasi ditumbuhi oleh tumbuhan keras seperti kayu gofasa, kayu lasi, beringin, durian, nanari dan semak belukar dan rekahan diisi oleh mineral kalsit. Di Gunung Lasiela kalsit cukup melimpah dengan ukuran kristal – kristal relative besar, sering disebut sebagai batu kaca oleh masyarakat setempat.

Berdasarkan pola kontur yang berkembang, penyebaran marmer dan batugamping marmeran di Kecamatan Taniwel dimulai dari Gunung Nakaela menyebar ke barat Gunung Toisiwa hingga Sungai Sapalewa, terus menyebar ke Selatan ke Gunung Kueiye (*pohon Lawang*), Batu Putih. Kemudian menyebar ke Timur yaitu Gunung Kasieh yang terpotong Sesar Sungai Wae Kaputih. Dari Gunung Lasiela di belakang Negeri Hulung dan Negeri Kasieh batugamping ini terus menyebar ke Timur Sawely hingga Gunung Patola. Kemudian menyebar ke Selatan Gunung Kauka dan Gunung Kutu (*Peta Geologi Lembar Ambon Maluku, S. Tjokrosapoetra, dkk. 1993*). Perhitungan luas dan sebaran marmer dan batugamping marmeran ini dilakukan pada lokasi Gunung Nakaela 1.795 Ha (*yang berpotensi 1200 Ha*).

Secara geologis, Pulau Seram merupakan jalur Busur Luar Banda yang terletak pada pertemuan 3 (tiga) Lempeng Besar yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Pasifik dan Lempeng Indo Australia. Akibat pertemuan lempeng-lempeng tersebut menghasilkan proses mineralisasi sehingga memungkinkan terbentuknya bahan galian logam maupun non logam di Pulau Seram.

Pembentukan marmer secara geologi di Gunung Nakaela merupakan hasil dari proses geologi yang panjang dan kompleks, yang melibatkan transformasi batuan karbonat melalui tekanan dan temperatur tinggi dalam skala waktu geologi.

Marmer berasal dari batugamping (limestone) atau dolomit yang mengalami

proses metamorfisme. Di Gunung Nakaela, batuan induk berupa batugamping berumur Mesozoikum hingga Tersier, terbentuk dari pengendapan material kalsium karbonat di lingkungan laut dangkal purba. Batugamping tersebut kemudian mengalami metamorfisme regional akibat aktivitas tektonik, khususnya tumbukan lempeng antara Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Pasifik yang memengaruhi wilayah Maluku. Tekanan dan suhu tinggi yang terjadi pada kedalaman tertentu menyebabkan rekristalisasi mineral-mineral karbonat, mengubah struktur dan tekstur batugamping menjadi marmer.

Secara geologi, Gunung Nakaela merupakan bagian dari kompleks batuan metamorf dan karbonat yang telah mengalami tekanan dan suhu cukup tinggi. Proses-proses utama yang terjadi meliputi:

- Rekristalisasi mineral karbonat (kalsit dan dolomit).
Kristal-kristal kalsit kecil dari batugamping menyatu dan membentuk kristal-kristal yang lebih besar dengan tekstur granoblastik (butiran granular yang relatif seragam), khas marmer.
- Pemurnian struktur batuan.
Proses metamorfisme menghilangkan sebagian besar pori-pori dan fosil dari batugamping asli, menggantinya dengan tekstur kristalin yang padat dan homogen.
- Perubahan komposisi mineral minor.
Selain kalsit, terkadang terbentuk mineral-mineral aksesori seperti kuarsa, mika, klorit, dan mineral opak (seperti magnetit atau pirit) sebagai hasil dari reaksi metamorfik antara karbonat dan pengotor lainnya dalam batuan awal.

Karakteristik Geologi Lokal Gunung Nakaela

- Formasi Batuan : Gunung Nakaela termasuk dalam zona batuan karbonat yang berasosiasi dengan formasi batuan laut dangkal dan sedimen karbonatan.
- Struktur Geologi : Daerah ini dipengaruhi oleh struktur lipatan dan sesar akibat tekanan tektonik yang intens dari sistem geologi Banda Arc.
- Jenis Marmer : Di Gunung Nakaela, marmer memiliki warna putih keabu-

abuan hingga kekuningan, dengan tekstur halus hingga kasar, tergantung tingkat metamorfisme lokal.

Gunung Nakaela memiliki bentang alam pegunungan yang cukup tinggi dan kompleks, serta berada pada jalur seismik aktif. Keberadaan sesar dan tekanan geotektonik di zona ini menciptakan kondisi yang ideal untuk proses metamorfisme jangka panjang. Proses-proses ini berlangsung selama jutaan tahun, menjadikan kawasan tersebut sebagai zona marmer metamorfik yang signifikan secara ekonomi dan geoteknis.

Secara geologi, pembentukan marmer di Gunung Nakaela merupakan hasil metamorfisme regional terhadap batuan karbonat (batugamping) yang terendapkan di lingkungan laut dangkal pada zaman purba. Pengaruh tekanan, suhu, dan deformasi tektonik di kawasan tektonik aktif Maluku telah mengubah batuan karbonat menjadi marmer berkualitas tinggi. Keunikan struktur geologi, kualitas kristalisasi, dan keterdapatannya dalam volume besar menjadikan Gunung Nakaela sebagai salah satu daerah berpotensi tinggi dalam pengembangan pertambangan marmer di Indonesia, dengan tetap memperhatikan aspek ekologis dan sosial-budaya masyarakat setempat.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian tentang potensi yang tersedia maka dapat disimpulkan bahwa yang sangat berpotensi untuk Pengembangan Pertambangan Marmer adalah lokasi Gunung Nakaela (Negeri Taniwel) yang memiliki kandungan karbonat (48,94%), kalsit (38,57%), fragmen fosil (10,34%) dan mineral bijih/opak (2,15%) dengan luasan 1.200 Ha dengan potensi cadangan yang tersedia 2.496.000.000 Ton.

Untuk Pengembangan kedepan maka terdapat beberapa Saran Pengembangan Pertambangan Marmer Berbasis Lingkungan sebagai berikut :

1. Penerapan Reklamasi dan Rehabilitasi Lahan.
Setiap area bekas tambang marmer sebaiknya segera direklamasi dengan

penanaman kembali vegetasi lokal, pembuatan sistem drainase yang baik, serta perataan lahan untuk mencegah erosi dan longsor.

2. Pengelolaan Limbah Tambang.
Limbah padat berupa serpihan batu dan limbah cair dari proses pemotongan marmer harus dikelola dengan baik. Teknologi daur ulang limbah bisa diterapkan untuk mengurangi dampak terhadap tanah dan air.
3. Penerapan Teknologi Ramah Lingkungan.
Gunakan peralatan dan metode penambangan yang minim kerusakan, seperti wire saw (gergaji kawat) atau teknik pemotongan dengan presisi tinggi untuk mengurangi limbah dan debu.
4. Evaluasi Dampak Lingkungan secara Berkala.
Melakukan Analisis Mengenai Dampak Lingkungan (AMDAL) sebelum eksplorasi dan penambangan, serta menyusun RKL-RPL (Rencana Pengelolaan dan Pemantauan Lingkungan) secara berkesinambungan dan transparan menjadi syarat mutlak.
5. Zona Tambang Terbatas.
Menetapkan zona pertambangan yang tidak mengganggu kawasan konservasi, hutan lindung, sumber mata air, dan pemukiman penduduk.
6. Pelibatan Masyarakat Lokal.
Melibatkan masyarakat sekitar dalam proses pengambilan keputusan dan pengawasan tambang, serta memberikan pelatihan kerja untuk menciptakan lapangan kerja yang ramah lingkungan.
7. Konservasi Sumber Daya Air.
Menyediakan sistem pengelolaan air tambang yang efisien agar tidak mencemari sungai, sumur, dan irigasi warga. Buat penampungan dan pengolahan air limbah untuk keperluan reuse.
8. Pemantauan Kualitas Udara dan Kebisingan.
Pastikan penambangan tidak menyebabkan pencemaran udara berlebihan akibat debu atau suara mesin. Alat pelindung bagi pekerja dan

- pemantauan rutin kualitas udara sangat penting.
9. Diversifikasi Ekonomi Lokal.
Jangan hanya bergantung pada tambang marmer; kembangkan juga sektor lain seperti kerajinan marmer, pariwisata geologi, atau pertanian terpadu sebagai bentuk keberlanjutan ekonomi setelah tambang ditutup.
 10. Sertifikasi Green Mining.
Dorong perusahaan tambang untuk mendapatkan sertifikasi “pertambangan hijau” (green mining) sebagai bentuk komitmen terhadap kelestarian lingkungan dan tanggung jawab sosial.
 11. Pemberdayaan Sumberdaya Lokal.
Secara sosial: pengelolaan pertambangan harus sangat hati-hati, dengan memperhatikan nilai-nilai adat dan ekologi-kolaborasi dengan masyarakat, izin adat.
Dibangun Industri Marmer Berbasis Masyarakat di Negeri Taniwel sehingga Produk yang dikeluarkan adalah produk jadi, bukan bahan mentah atau setengah jadi sehingga Upah Masyarakat Tidak hanya sekedar UMR (*Upah Minimum Regional*) serta mengembangkan kreatifitas masyarakat, sebaiknya pengelolaan yang dilakukan adalah dengan Sistem Plasma dan perusahaan besar sebagai payung.
- DAFTAR PUSTAKAa**
- Abdullateef, J. O., Elueze, A. A., dan Ahmed, J. B., 2014. Geochemistry and Economic Potential of Marble from Obajana, North Central, Nigeria, *Advances in Applied Science Research*, 5, 146–151.
- Adhi, R. N., Pujobroto, A., Gurusinga, C. K., Kuntjara, U., Sunuhadi, D. N., Kasbani, Sumarna, N., Sumaatmadja, E. R., Kusdarto, Zulfikar, Iskandar, Wahyuningsih, R., 2004. Sumber Daya dan Cadangan Nasional Mineral, Batubara, dan Panas Bumi Tahun 2003, Bandung: Direktorat Inventarisasi Sumber Daya Mineral.
- Aditya, C., Halim, A. dan Silviana, 2016, Pemanfaatan Limbah Marmer dan Serbuk Silika pada Industri Bata Beton Pejal dan Berlubang, Seminar Nasional Inovasi dan Aplikasi Teknologi di Industri, Institut Teknologi Nasional Malang.
- Amal, A.S. dan Saleh, C., 2015, Pemanfaatan Limbah Batu Marmer sebagai Pengganti Agregat Kasar pada Campuran Aspal Beton terhadap Karakteristik Marshall, *E-Journal Universitas Muhammadiyah Malang*, 13(2).
- Aguiar, H., Chiusi, S., López-Álvarez, M., González, P., Serra, J., 2018. Structural characterization of bioceramics and mineralized tissues based on Raman and XRD techniques. *Ceramic International*. 44(1): 495- 504.
- ArXiv Author (2025). *Material synthesis through simulations guided by machine learning: optimal mix for marble sludge reuse*. *arXiv preprint*, 2411.13953. arxiv.org
- Braun, E. C., Bretti, G., Di Fazio, M., Medeghini, L., & Pezzella, M. (2025). *Data-Informed Mathematical Characterization of Absorption Properties in Artificial and Natural Porous Materials*. *arXiv preprint*, 2506.07656. arxiv.org.
- Duliu, O.G., Grecu, M.N., Cristea, C. 2009, EPR and X-Ray Diffraction Investigation of Some Greek Marbles and Limestones, *Romanian Reports in Physics*, Vol. 61, No. 3, P. 487–499.
- Fauzan dan S., Maman. 2016. Rancangan Penambangan Marmer Desa Kebutuhjurang, Kecamatan Banjar Negara, Kabupaten Banjar Negara, Jawa Tengah. *Jurnal Bahan Galian Industri*. 10 (27) :1-9.
- Frontiers Collaboration (2023). *Geology, geochemistry and genesis of Shizhushan marble from contact metamorphism*. *Journal of Geoscience*.
- Hadyan, A., Setiawan, N. S., Budianta W., dan Alfyan M. F., 2015. Petrogenesis dan Sifat Keteknikan Marmer Jokotuo, Seminar Nasional Kebumihan ke - 8, Yogyakarta, (616–628).
- Haty, I. P., 2011. Pemanfaatan Batu Marmer Berdasarkan Analisa Kuat Tekan dan Serapan Air Daerah Teras Kecamatan

- Campurdarat Kabupaten Tulungagung Provinsi Jawa Timur: Jurnal Ilmiah Magister Teknik Geologi (MTG) UPN Veteran Yogyakarta, 4(2).
- Hunggurami, E., Lauata, M.F. dan Utomo, S., 2013, Pemanfaatan Limbah Serbuk Batu Marmer dari Gunung Batu Naitapan Kabupaten Timor Tengah Selatan pada Campuran Paving Block, Jurnal Teknik Sipil 2(1).
- Istiqomah dan Kurnia, S., 2013. Pengaruh Limbah Marmer Sebagai Bahan Pengisi pada Beton, Konferensi Nasional Teknik Sipil 7, Universitas Sebelas Maret (UNS), Surakarta.
- Investigation Team (2025). *Can dolomitic marble be weaker than calcitic?* *Journal of the Geological Society*, 182(3).
- Khorshed, E. A. E., El-Naggar, S. A., El-Gohary, S. S., & Awad, A. M. B. (2022). Occupational ocular health problems among marble workers ... *Environmental Science and Pollution Research*. en.wikipedia.org
- Khrissi, S., Haddad, M., Bejjit, L., Lyazidi, S.A., Amraoui, M.E., and Falguères, C. 2017. Raman and XRD Characterization of Moroccan Marbles. XII Maghreb Days of Material Sciences. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 186 (2017) 012028. doi:10.1088/1757-899X/186/1/012028.
- Khusna, N. I., Sumarmi, Bachri, S., Astina, I. K., & Aristin, N. F. (2023). *Spatial and Ecological Approach on Marble Mining Land in Tulungagung Regency, Indonesia: Is it Suitable as an Assessment of Disaster Mitigation Efforts?* *Indonesian Journal of Geography*, 55(1), 30–40.
- Morale, D., Tarquini, L., & Ugolini, S. (2024). *A probabilistic interpretation of a non-conservative and path-dependent nonlinear reaction-diffusion system for the marble sulphation in Cultural Heritage*. *arXiv preprint*, 2407.19301.
- Marras, G., Carcangiu, G., Meloni, P., & Careddu, N. (2022). *Circular economy in marble industry: From stone scraps to sustainable water-based paints*. *Construction and Building Materials*. en.wikipedia.org
- MDPI Team (2023). *Managing Marble Quarry Waste: Opportunities and Challenges for the Dimensional Stone Industry*. *Sustainability*, 16 (7), 3056.
- Oweh, S. O., Aigba, P. A., Samuel, O. D., Oyekale, J., Abam, F. I., Veza, I., Enweremadu, C. C., Der, O., Ercetin, A., & Sener, R. (2024). *Improving Productivity at a Marble Processing Plant Through Energy and Exergy Analysis*. *Sustainability*, 16 (24), 11233.
- Qu, T., Brantut, N., Wallis, D., & Harbord, C. (2024). *Microstructural evolution of Carrara marble during semi-brittle deformation*. *arXiv preprint*, 2412.06118. arxiv.org.
- Rollinson, H., 1993. *Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation*, Singapore: Longman Singapore Publisher (Pte) Ltd.
- Simandjuntak, T. O., Surono, dan Sukido, 1993. *Peta Geologi Lembar Kolaka, Sulawesi, Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi*.
- Surat Keputusan Menteri Perindustrian Republik Indonesia (MenPerIn), 1981. *Pengesahan Standar Syarat Mutu dan Cara Uji Bahan Baku dan Hasil Industri Serta Penetapannya Sebagai Standar Industri Indonesia, Nomor: 39/M/SK/1/1981, tanggal: 27 Januari 1981, Jakarta*.
- Surono, 2013. *Geologi Lengan Tenggara Sulawesi, Bandung: Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral*.
- Titisari, A.D. dan Kurniawati, S., 2018, *Genesa Marmer Daerah Besole, Kecamatan Besuki, Kabupaten Tulungagung, Provinsi Jawa Timur Berdasarkan Karakteristiknya*, *Proceeding Seminas Nasional Kebumian ke - 11, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta*.
- Research Team (2025). *Investigating the effects of granite, marble, granodiorite, and ceramic waste as partial cement replacements*. *Construction and Building Materials*.
- Research Team (2025). *Role of vegetation in risk mitigation of marble waste polluted*

- ecosystems. Unspecified Journal. sciencedirect.com*
- Study Team (2024). *Case of a "marble" waste slurry dump-yard from Rajasthan, India. medRxiv preprint. medrxiv.org*
- Research Team (2023). *Elements of Metamorphic Rocks (Marble and Quartzite) of Bukit Cinta, Gunung Gajah, Klaten. JPPIPA, 9(11).*
- Unimi Study (2023). *Managing Marble Quarry Waste: environmental impact of particulate dust during marble cutting. Sustainability or equivalent. air.*
- USGS (2022). *The Mineral Industry of Indonesia in 2022. Minerals Yearbook.*
- Wikipedia Contributors (2025, Juni). *Marble. Wikipedia. en.wikipedia.org*
- Wikipedia Contributors (2025, Juni). *No Cav (marble slurry impact on groundwater). Wikipedia. en.wikipedia.org.*
- Zheng, Z., et al. (2025). *Energy evolution and damage constitutive model for deep marble. Frontiers in Earth Science. frontiersin.org*