



Kualitas, Pemodelan 3-Dimensi, dan Estimasi Cadangan pada Kuari Batugamping, PT Semen Indonesia (Persero), Tbk., Kabupaten Rembang, Provinsi Jawa Tengah

Vanadia Martadiastuti^{1*}, Bella Pratiwi¹, Rinal Khaidar Ali¹

¹Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Abstrak

Pertambangan batugamping merupakan salah satu industri yang strategis bagi kebutuhan bahan baku utama industri semen. Untuk itu, perlu dilakukan kegiatan eksplorasi terhadap kawasan yang memiliki potensi cadangan batugamping. Penelitian ini berada pada kuari batugamping, area tambang dengan Izin Usaha Pertambangan (IUP) batugamping PT Semen Indonesia (Persero), Tbk. Tambang batugamping yang terletak di Kabupaten Rembang, Provinsi Jawa Tengah ini, memiliki kapasitas sebesar 3,5 juta ton/tahun dengan berat jenis batugamping 2,5 gr/cm³. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui kualitas batugamping, jumlah cadangan batugamping, dan umur tambang daerah penelitian. Metode penelitian yang digunakan yaitu observasi lapangan dan analisis laboratorium, yaitu meliputi analisis sayatan tipis serta analisis *X-Ray Fluorescence* (XRF). Selanjutnya, dilakukan perhitungan estimasi cadangan dengan menggunakan perangkat lunak *3DMine*. Pada pengolahan perangkat lunak diperoleh kadar rata-rata kandungan kimia pada kuari batugamping, yaitu CaO 53.52%, MgO 2.27%, SiO 0.36%, Al₂O₃ 0.42%, dan Fe₂O₃ 0.14%. Perhitungan estimasi cadangan batugamping didapatkan volume sebesar 25.133.812,50 m³ dan tonase sebesar 62.834.531.25 ton, serta sisa umur tambang batugamping, yaitu 17 tahun 11 bulan. Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI), kualitas batugamping pada daerah penelitian layak untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku utama dalam pembuatan semen.

Kata Kunci: estimasi cadangan; kualitas; pemodelan; Rembang; tambang batugamping.

Abstract

Limestone mining is one of the strategic industries for the main raw material needs of the cement industry. For this reason, it is necessary to carry out exploration activities in areas that have potential limestone reserves. This research is located in a limestone quarry, a mining area with a limestone mining business permit (IUP) of PT Semen Indonesia (Persero), Tbk. This limestone mine area, located in Rembang Regency, Central Java Province, has a capacity of 3.5 million tons/year with a limestone density of 2.5 gr/cm³. The purposes of this study are to determine the quality of limestone, the amount of limestone reserves, and the age of the mine in the study area. This research was conducting field observation and laboratory analyses, i.e. thin section and X-Ray Fluorescence (XRF) analyses. Furthermore, calculation of the estimated reserves using the 3DMine software is carried out. In software processing, the average chemical content of limestone quarries was obtained, comprising CaO 53.52%, MgO 2.27%, SiO 0.36%, Al₂O₃ 0.42%, and Fe₂O₃ 0.14%. The estimated limestone reserves obtained a volume of 25,133,812.50 m³ and a tonnage of 62,834,531.25 tons, and the remaining life of the limestone mine is 17 years and 11 months. Based on the Indonesian National Standard (SNI), the quality of limestone in the study area is feasible to be used as the main raw material for cement manufacturing.

Keywords: reserve estimation; quality; modeling; Rembang; limestone mining.

*) Korespondensi: vanadiamartadiastuti@lecturer.undip.ac.id

Diajukan : 3 Agustus 2021

Diterima : 14 Maret 2022

Diterbitkan : 20 April 2022

PENDAHULUAN

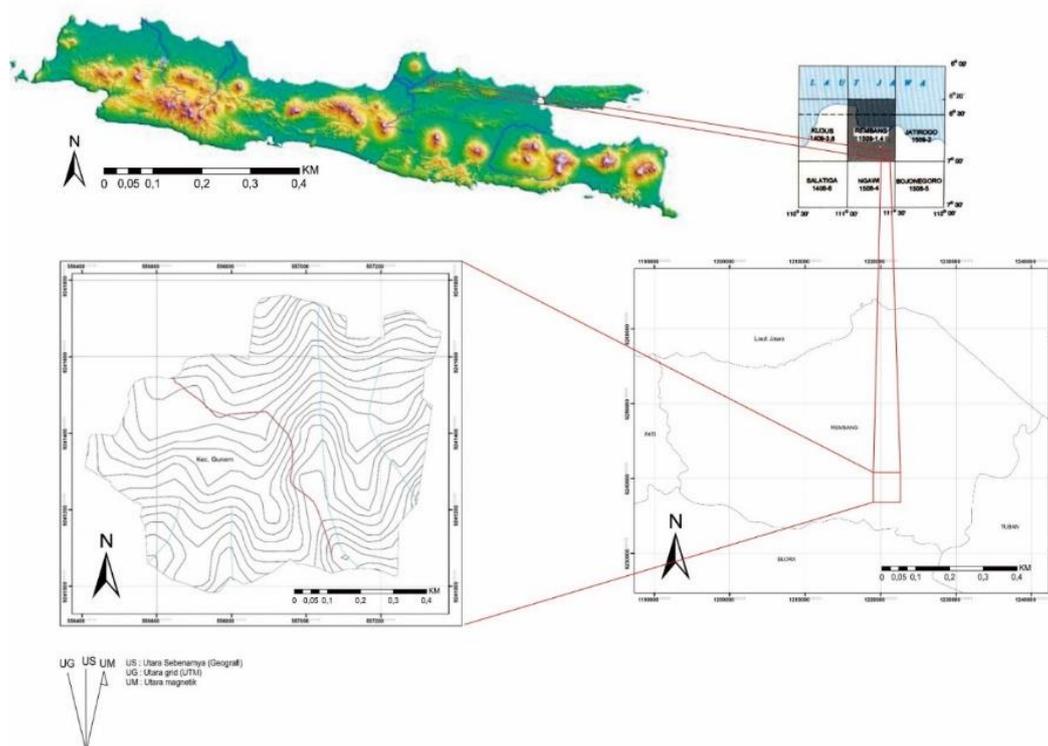
Perkembangan infrastruktur yang sangat pesat mengakibatkan peningkatan kebutuhan bahan baku bangunan di segala bidang, salah satunya adalah permintaan bahan baku semen dengan bahan baku utama batugamping. Batugamping merupakan salah satu mineral industri yang memiliki cadangan melimpah di seluruh wilayah Indonesia, di mana mengandung kalsium karbonat lebih dari 90% (Mahardika dkk., 2020). Indonesia memiliki cadangan terbukti batugamping sebesar 4,3 miliar ton (PSDG, 2020). Oleh karena itu, perlu dilakukan eksplorasi terhadap kawasan yang memiliki potensi cadangan batugamping yang bersifat ekonomis.

Cadangan merupakan bagian dari sumberdaya yang telah diketahui penyebaran, bentuk, kualitas dan kuantitas pada saat pengkajian serta dinyatakan layak untuk ditambang (Standar Nasional Indonesia 4726, 2019). Perhitungan estimasi cadangan adalah perhitungan jumlah volume atau *tonase* dari suatu endapan. Setelah didapatkan estimasi cadangan, maka dapat diketahui jumlah cadangan dan umur tambang berdasarkan target produksinya.

Lokasi penelitian berada pada area tambang Izin Usaha Pertambangan (IUP) PT Semen Indonesia (Persero), Tbk., yang terletak di Desa Tegaldowo, Kecamatan Gunem, Kabupaten Rembang, Provinsi Jawa Tengah, dengan area pabrik PT Semen Gresik Rembang (Gambar 1). Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengetahui kualitas batugamping dan pemodelan estimasi cadangan untuk mendapatkan jumlah cadangan batugamping, sehingga dapat diketahui umur tambang batugamping berdasarkan target produksi per tahunnya.

METODOLOGI

Metodologi penelitian yang digunakan dalam penelitian, yaitu metode deskriptif, metode analisis, dan metode kuantitatif. Metode deskriptif berupa metode observasi untuk mengetahui kondisi geologi secara langsung di lapangan, meliputi kondisi geomorfologi dan stratigrafi. Selain itu, observasi di lapangan juga menggunakan data pemboran sebanyak 8 titik bor (SIRG 01, SIRG 02, SIRG 03, SIRG 04, SIRG 05, SIRG 06, SIRG 07, dan SIRG 08).



Gambar 1. Peta daerah penelitian yang terletak di Kabupaten Rembang, Provinsi Jawa Tengah. Daerah penelitian dibatasi oleh kotak berwarna merah.

Metode analisis meliputi analisis petrografi dengan sayatan tipis dan analisis komposisi unsur kimia dengan analisis *X-Ray Fluorescence* (XRF). Analisis petrografi dilakukan di Laboratorium Sumberdaya Mineral (SDM), Departemen Teknik Geologi Universitas Diponegoro, sedangkan analisis XRF dilaksanakan di Laboratorium Quality Control (QC) PT Semen Gresik Rembang. Metode kuantitatif yang dilakukan menggunakan perhitungan geostatistika, yaitu metode interpolasi *Inverse Distance Weighting* (IDW). Selanjutnya, data tersebut diolah menggunakan program perangkat lunak *3DMine*.

HASIL

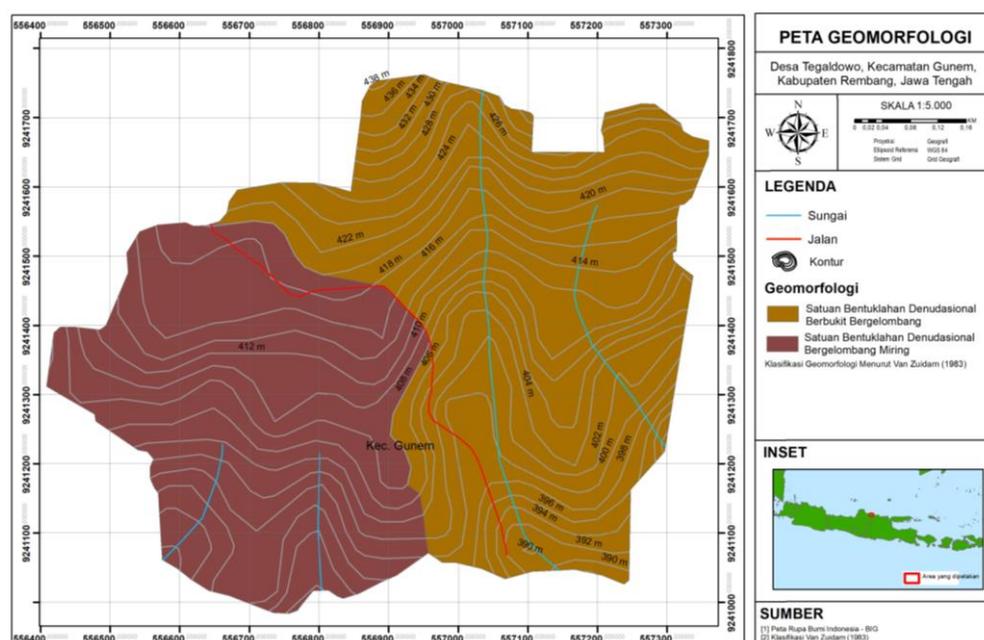
Geomorfologi Daerah Penelitian

Berdasarkan fisiografi regional, daerah penelitian berada pada Zona Rembang (van Bemmelen, 1949). Pada penelitian ini aspek geomorfologi kelerengannya dikelompokkan berdasarkan klasifikasi kemiringan lereng (van Zuidam, 1985; Listyani, 2019) dan pengelompokan menurut skala peta daerah penelitian dan proses geologi yang terbentuk mengacu pada Klasifikasi Bentuk Muka Bumi (Brahmantyo dan Bandono, 2006).

Morfologi pada daerah penelitian secara dominan terbentuk dari hasil proses geologi yang dipengaruhi oleh faktor dari luar bumi (eksogen), yaitu berupa penggalian tambang

batugamping untuk bahan baku semen oleh aktivitas manusia. Oleh karena itu, bentuklahan pada daerah penelitian termasuk ke dalam Satuan Bentuklahan Denudasional. Berdasarkan perbedaan kelerengannya, satuan ini dibedakan menjadi 2 satuan, yaitu Satuan Bentuklahan Denudasional Berbukit Bergelombang dan Satuan Bentuklahan Denudasional Bergelombang Miring. Sebarannya satuan bentuk lahan pada daerah penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.

Satuan Bentuklahan Denudasional Berbukit Bergelombang memiliki kontur lebih rapat, persen lereng sebesar 18,4%, beda tinggi 48 m, dan mencakup sekitar 60% dari seluruh total kavling. Berdasarkan perhitungan morfometri, didapatkan hasil bahwa kelerengannya pada satuan ini tergolong ke dalam satuan Berbukit Bergelombang (van Zuidam, 1983). Satuan bentuklahan ini ditunjukkan oleh foto pada Gambar 3. Satuan Bentuklahan Denudasional Bergelombang Miring memiliki kontur lebih renggang, persen lereng sebesar 11,02%, beda tinggi 22 m, dan mencakup sekitar 40% dari seluruh total kavling. Berdasarkan perhitungan morfometri, didapatkan hasil bahwa kelerengannya pada satuan ini tergolong ke dalam satuan Bergelombang Miring (van Zuidam, 1983). Satuan bentuklahan ini ditunjukkan oleh foto pada Gambar 4.



Gambar 2 Peta Geomorfologi Daerah Penelitian, tersusun atas Satuan Bentuklahan Denudasional Berbukit Bergelombang dan Satuan Bentuklahan Denudasional Bergelombang Miring

Stratigrafi Daerah Penelitian

Litologi daerah penelitian tersusun oleh Satuan Batugamping yang termasuk ke dalam Formasi Paciran (Gambar 5). Batugamping dolomitasi ini memiliki struktur masif dengan permukaan

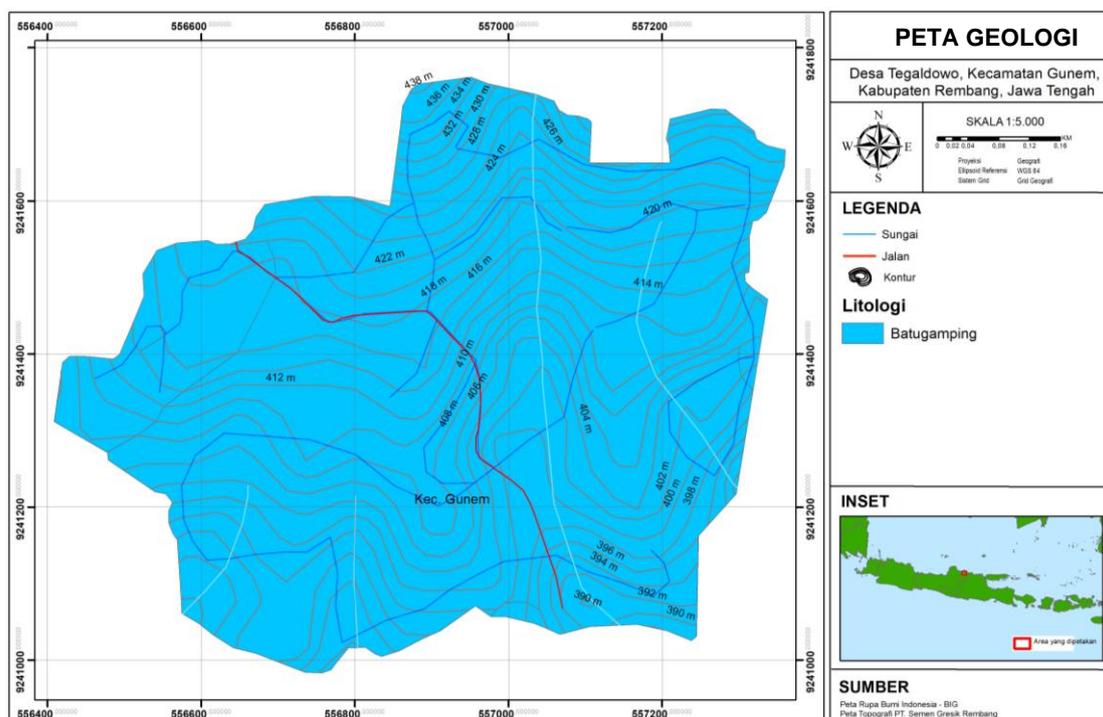
berbentuk khas akibat pelarutan dan pengaruh pelapukan. Pada batugamping dapat dijumpai organisme koral, ganggang, dan foraminifera (Kadar dan Sudijono, 1994).



Gambar 3. Satuan Bentuklahan Denudasional Berbukit Bergelombang



Gambar 4. Satuan Bentuklahan Denudasional Bergelombang Miring.



Gambar 5. Peta Geologi Daerah Penelitian, tersusun oleh litologi berupa batugamping kalkarenit (Grabau, 1904).

Berdasarkan pengamatan langsung dan dari hasil data bor, batugamping tersebut berwarna coklat kekuningan, berukuran butir pasir (<2 mm) atau termasuk ke dalam kalkarenit (Grabau, 1904), memiliki sortasi buruk dan kemas terbuka, dilihat dari perbedaan material penyusun butir (Gambar 6a). Batugamping ini tersusun oleh *allochem* berupa fragmen skeletal dari organisme foraminifera, koral, dan alga, serta *orthochem* berupa mikrit (lumpur karbonat) dan mikrosparit (Gambar 6b).

Berdasarkan teksturnya, batugamping ini tersusun oleh *mud-supported* dan memiliki fragmen <10%, sehingga tergolong ke dalam *Mudstone* (Dunham, 1962). Selain itu, ada juga yang memiliki tekstur *grain-supported* dan memiliki fragmen >10%, sehingga termasuk ke dalam *Packstone* (Dunham, 1962).

Estimasi Cadangan Batugamping

Pada pembuatan model estimasi cadangan batugamping membutuhkan data bawah permukaan, yaitu data titik bor untuk mengetahui kondisi bawah permukaan daerah penelitian. Data pemboran tersebut meliputi nama titik, kedalaman, dan koordinat titik bor. Pemboran dilakukan secara *linear* dengan kedalaman titik bor bervariasi. Pada proses perhitungan estimasi cadangan batugamping terdapat 4 data hasil analisis data titik bor dan analisis kadar kandungan kimia, yaitu data *collar*, data *survey*, data *assay*, dan data *geology*.

Model Blok dengan Software 3DMine

Pemodelan blok diawali dengan pembuatan *database* atau basis data yang sebelumnya

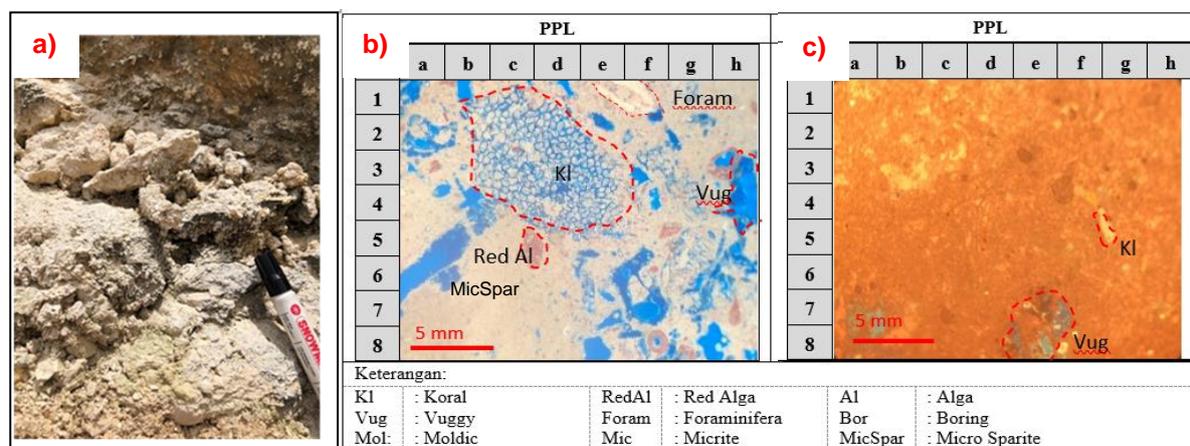
diolah di dalam *Microsoft Excel*, dengan *file extension* berjenis *.csv (*Comma Delimited*). Selanjutnya data tersebut dimasukkan pada perangkat lunak *3DMine* sehingga diperoleh peta persebaran titik bor (Gambar 7).

Selanjutnya, dilakukan pengolahan data topografi (data kontur) yang menunjukkan elevasi permukaan (morfologi) daerah penelitian. Data topografi diperoleh dari *section of mining* PT Semen Gresik Rembang, lalu diproses menjadi bentuk 3 dimensi dengan format *DTM (Digital Terrain Model)* dan digunakan sebagai bagian atas model dan memotong blok model.

Pembuatan model blok disesuaikan dengan perkiraan batas cadangan yang akan dihitung dengan ukuran desain jenjang panjang x lebar x tinggi, yaitu 5 m x 5 m x 2,5 m per-unit blok. Ukuran tersebut disesuaikan dengan dengan sistem penambangan yang digunakan pada daerah penelitian dengan standar dari PT Semen Indonesia (Persero), Tbk. Setelah model blok terbentuk, selanjutnya dengan *attribute constraint* model blok tersebut dipotong agar sesuai dengan bentuk daerah penelitian.

PEMBAHASAN

Pada daerah penelitian termasuk kedalam cadangan mineral terbukti yang merupakan cadangan dengan tingkat keyakinan geologi yang tinggi dengan kajian kelayakan semua faktor yang terkait telah terpenuhi sehingga hasil kajiannya dinyatakan layak untuk ditambang menurut SNI 4726 (Badan Standardisasi Nasional, 2019).



Gambar 6. Litologi batugamping pada daerah penelitian. a) Foto secara megaskopis, termasuk ke dalam Kalkarenit (Grabau, 1904); b) Fotomikroskopis *Packstone* (Dunham, 1962); c) Fotomikroskopis *Mudstone* (Dunham, 1962).

Model Blok berdasarkan Kualitas Batugamping menurut Standar Nasional Indonesia (SNI)

Berdasarkan data observasi geologi, litologi pada daerah penelitian seluruhnya tersusun batugamping. Oleh karena itu, persebaran litologi pada pembuatan model blok dilakukan secara homogen (sama) karena tidak dijumpai litologi lain pada daerah penelitian. Selanjutnya, pengolahan data *geology* tidak dibedakan jenis litologinya karena memiliki kadar kandungan kimia yang sesuai dengan standar perusahaan sebagai pembuatan bahan baku utama semen. Parameter kualitas batugamping sebagai bahan baku utama industri semen yaitu kalsium oksida (CaO).

PT Semen Indonesia (Persero), Tbk. (2016) menetapkan komposisi kadar kandungan CaO yang layak untuk bahan baku semen sebesar 50-55%, sedangkan Standar Nasional Indonesia (SNI) menetapkan kualitas batugamping yang memenuhi syarat dalam pembuatan semen, yaitu apabila kandungan kimia CaO lebih dari 50%. Berdasarkan ketentuan tersebut, model blok pada daerah penelitian dapat dibedakan menjadi 3 kelas, yaitu buruk, sedang, dan baik (Gambar 8). Kelas buruk memiliki kadar CaO <50% (warna hijau), kelas sedang memiliki kadar CaO 50-54% (warna kuning), dan kelas baik memiliki kadar CaO $\geq 55\%$ (warna merah).

Berdasarkan hasil pemodelan kadar CaO yang diperoleh dari hasil analisis XRF, menunjukkan bahwa daerah penelitian didominasi oleh kadar CaO $\geq 55\%$ (kelas baik). Oleh karena itu, litologi batugamping pada daerah penelitian dinyatakan layak atau

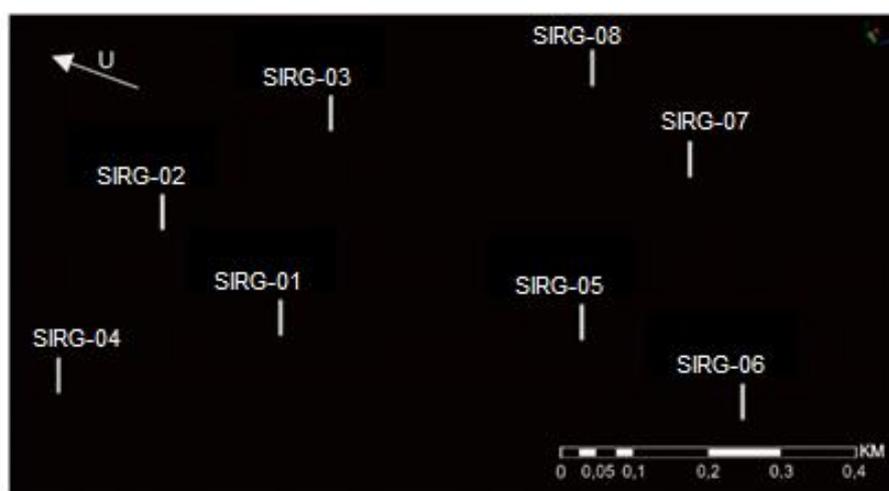
memenuhi persyaratan untuk dijadikan bahan baku utama dalam pembuatan semen berdasarkan parameter standar kualitas batugamping PT Semen Indonesia (Persero), Tbk. maupun SNI.

Hubungan kualitas batugamping sangat mempengaruhi keadaan kadar komposisi kimia, sehingga menyebabkan perbedaan warna persebaran kualitas CaO. Persebaran kualitas CaO buruk dan sedang (warna hijau dan kuning), menunjukkan lingkungan pengendapan batugamping terbentuk pada laut yang lebih dalam. Pada kondisi kedalaman laut yang cukup dalam dan kurangnya intensitas sinar matahari, menyebabkan kelimpahan organisme yang hidup pada daerah tersebut cenderung lebih sedikit. Minimnya organisme yang berkembang pada laut dalam menyebabkan kadar CaO menjadi lebih sedikit.

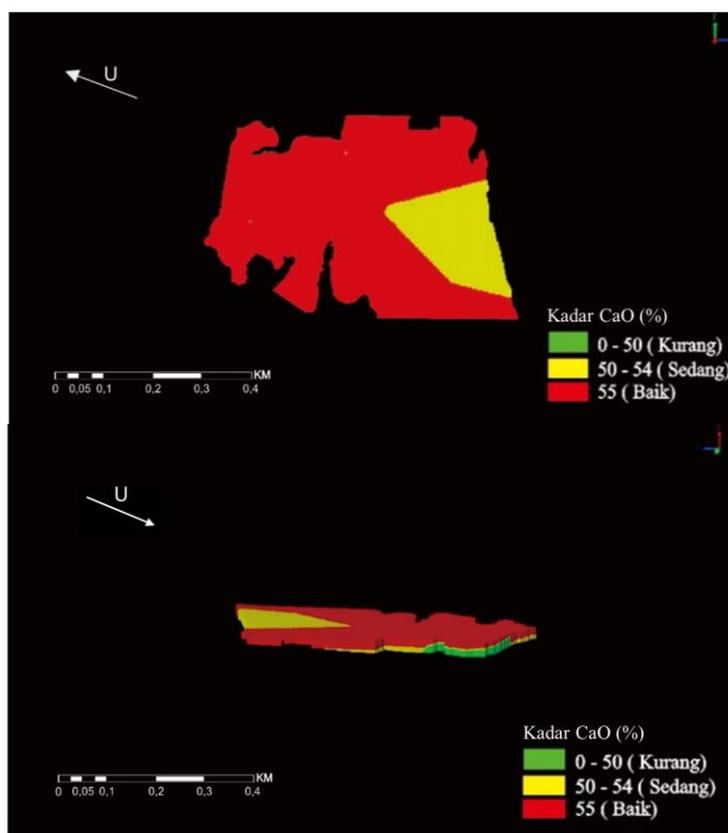
Selanjutnya, kualitas CaO baik (warna merah), mengindikasikan bahwa batugamping terbentuk pada kedalaman yang dangkal, dengan kondisi air yang jernih dan banyaknya intensitas sinar matahari. Kondisi tersebut mengakibatkan melimpahnya organisme yang hidup pada zona laut dangkal, sehingga memiliki kadar CaO yang tinggi.

Estimasi Cadangan Batugamping

Estimasi cadangan batugamping pada daerah penelitian dihitung dengan menggunakan metode interpolasi. Pada tahap awal dilakukan proses ekstraksi data *assay* (nilai komposisi kimia), selanjutnya dilakukan interpolasi dengan metode *Inverse Distance Weighted* (IDW).



Gambar 7. Persebaran 8 titik bor pada daerah penelitian.



Gambar 8. Model kadar CaO tampak atas (gambar atas) dan tampak samping (gambar bawah).

Tabel 1. Block Report Model by Volume

Litologi	Z	Volume	Tonnes	CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
limestone	340~350	309875.00	774687.50	55.42	0.50	0.32	0.42	0.15
limestone	350~360	2080937.50	5202343.75	54.90	1.05	0.34	0.43	0.15
limestone	360~370	3982187.50	9955468.75	52.60	3.41	0.34	0.42	0.15
limestone	370~380	5087625.00	12719062.50	52.22	3.81	0.37	0.43	0.15
limestone	380~390	5688687.50	14221718.75	53.26	2.62	0.37	0.41	0.13
limestone	390~400	4655312.50	11638281.25	54.19	1.18	0.37	0.40	0.13
limestone	400~410	2518562.50	6296406.25	54.98	0.40	0.37	0.42	0.14
limestone	410~420	810625.00	2026562.50	55.46	0.47	0.39	0.49	0.17
limestone	Sub total	25133812.50	62834531.25	53.52	2.27	0.36	0.42	0.14
Total		25133812.50	62834531.25	53.52	2.27	0.36	0.42	0.14

Metode ini dipengaruhi oleh jarak, yaitu semakin rapat jaraknya, maka tingkat keakuratan data semakin baik. Sebaliknya, jika jaraknya semakin jauh maka tingkat keakuratan data semakin buruk. Metode interpolasi ini dipilih karena minim terhadap *error*. Keterbatasan nilai *error* dapat disebabkan karena adanya kesalahan pada saat sebelum melakukan interpolasi dan pada saat pengolahan basis data. Hal itu dapat disebabkan karena adanya kesalahan pada saat pengambilan data ataupun pada saat analisis laboratorium.

Setelah proses interpolasi selesai, selanjutnya didapatkan hasil berbentuk *block report model by volume*, yang merupakan tahap akhir dari estimasi cadangan. Pembuatan *block report model by volume* dengan perangkat lunak *3DMine*, menggunakan nilai berat jenis batugamping sebesar 2.5 g/cm³ berdasarkan ketentuan dari PT Semen Indonesia (Persero), Tbk. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa estimasi cadangan batugamping di daerah penelitian adalah sebesar 25.133.812,50 m³ dan tonase sebesar 62.834.531.25 ton, dengan rata-rata kadar komposisi kimia pada daerah

penelitian, yaitu CaO 53.52%, MgO 2.27%, SiO 0.36%, Al₂O₃ 0.42%, dan Fe₂O₃ 0.14% (Tabel 1). Berdasarkan SNI 4726 (Badan Standardisasi Nasional, 2019), kualitas batugamping pada daerah penelitian tergolong layak untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku utama dalam pembuatan semen. Hal itu karena kandungan komposisi kimia CaO yang tinggi dan MgO yang rendah.

Selain untuk mengetahui jumlah volume dan tonase batugamping, perhitungan estimasi cadangan juga dapat untuk mengetahui umur tambang pada daerah penelitian. Berdasarkan target produksi per tahun pada PT Semen Indonesia (Persero), Tbk. yang memiliki kapasitas sebesar 3.500.000 ton/tahun, maka diperoleh sisa umur tambang yaitu 17 tahun 11 bulan.

$$\text{Umur tambang} = \frac{\text{cadangan batugamping (ton)}}{\text{Produksi per-tahun } \left(\frac{\text{ton}}{\text{tahun}}\right)} = \frac{62.834.531.25}{3.500.000} \\ = 17.95 = 17 \text{ Tahun } 11 \text{ Bulan}$$

KESIMPULAN

Daerah penelitian tersusun oleh Satuan Batugamping yang dominan memiliki kadar CaO yang tinggi ($\geq 55\%$) dan layak untuk digunakan sebagai bahan baku utama industri semen. Kadar rata-rata komposisi kimia pada kuari batugamping antara lain: CaO 53.52%, MgO 2.27%, SiO 0.36%, Al₂O₃ 0.42%, dan Fe₂O₃ 0.14%. Cadangan batugamping pada IUP PT Semen Gresik (Persero), Tbk. termasuk ke dalam cadangan terbukti menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) adalah sebesar 25.133.812,50 m³ dan tonase 62.834.531.25 ton, serta sisa umur tambang 17 tahun 11 bulan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT Semen Indonesia (Persero), Tbk., yang sudah memberikan izin dalam melakukan pengambilan data untuk penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Standardisasi Nasional, 2019. Standar Nasional Indonesia (SNI) 4726:2019.

- Pedoman Pelaporan Hasil Eksplorasi, Sumber Daya, dan Cadangan Mineral. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Brahmantyo, B. dan Bandonu, 2006. Klasifikasi Bentuk Muka Bumi (*Landform*) untuk Pemetaan Geomorfologi pada Skala 1:25.000 dan Aplikasinya untuk Penataan Ruang. *Jurnal Geoaplika*, 1(2), 71-78 pp.
- Dunham, R.J., 1962. Classification of Carbonate Rocks According to Depositional Texture. In: Classification of Carbonate Rocks (Ed. W.E. Ham). *American Association Petroleum Geologist*, 1, 108-121 pp.
- Grabau, A.W., 1904. On The Classification of Sedimentary Rocks. *American Geologist*, 33, 228-247.
- Kadar, D. dan Sudijono, 1994. *Geologi Regional Lembar Rembang*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Listyani R.A., T., 2019. Criticise of Van Zuidam Classification : A Purpose of Landform Unit. *Prosiding Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi XIV Tahun 2019, November 2019*. 332-337.
- Mahardika, R.R., Sukartono, dan Mahbub, R. M., 2020. Kualitas Batugamping Terumbu sebagai Bahan Baku Semen Portland Daerah Ngluyu dan Sekitarnya, Kecamatan Rejoso, Kabupaten Nganjuk, Provinsi Jawa Timur. *Geoda*, 1(2).
- PT Semen Gresik, 2016. Kadar Kualitas Kimia Batugamping dan Proses Industri PT Semen Gresik Rembang: PT Semen Gresik.
- Pusat Sumber Daya Geologi, 2020. *Pemutakhiran Data dan Neraca Sumber Daya Mineral Status 2020*. Executive Summary. Jakarta: Pusat Sumber Daya Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- van Bemmelen, R.W., 1949. *The Geology of Indonesia Volume 1A*. Netherlands: The Hague Government Printing Office.
- van Zuidam, R. A. (1985). *Aerial Photo-Interpretation in Terrain Analysis and Geomorphologic Mapping*. Netherlands: The Hague, ITC, Smits Publishers.