

SKRIPSI

**ANALISIS POTENSI BATUGAMPING BERDASARKAN KUALITASNYA
SEBAGAI BAHAN BAKU SEMEN PORTLAND BERDASARKAN
ANALISA GEOKIMIA PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk. DAERAH
SUMBERARUM KECAMATAN KEREK KABUPATEN TUBAN
PROVINSI JAWA TIMUR**

Disusun dan diajukan oleh

**RAFIFAH AYU KUSUMASTUTI
D061181003**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK GEOLOGI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

SKRIPSI

**ANALISIS POTENSI BATUGAMPING BERDASARKAN KUALITASNYA
SEBAGAI BAHAN BAKU SEMEN PORTLAND BERDASARKAN
ANALISA GEOKIMIA PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk. DAERAH
SUMBERARUM KECAMATAN KEREK KABUPATEN TUBAN
PROVINSI JAWA TIMUR**

Disusun dan diajukan oleh

**RAFIFAH AYU KUSUMASTUTI
D061181003**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK GEOLOGI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**ANALISIS POTENSI BATUGAMPING BERDASARKAN KUALITASNYA
SEBAGAI BAHAN BAKU SEMEN PORTLAND BERDASARKAN
ANALISA GEOKIMIA PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk. DAERAH
SUMBERARUM KECAMATAN KEREK KABUPATEN TUBAN
PROVINSI JAWA TIMUR**

Disusun dan diajukan oleh

**RAFIFAH AYU KUSUMASTUTI
D061181003**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Sarjana yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 18 Oktober 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Gowa, 18 Oktober 2023

Disetujui Oleh:
Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,

h.a

Prof. Dr. Eng. Ir. Asri Jaya HS, S.T., M.T., IPM.
NIP. 19690924 199802 1 001

Dr. Ulva Ria Irfan, S.T., M.T.
NIP. 197006061994122001

Mengetahui,
Ketua Departemen Teknik Geologi
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin



Dr. Eng. Hendra Pachri, S.T., M.Eng.
NIP. 19771214 200501 1 002

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertandatangan dibawah ini :

Nama : Rafifah Ayu Kusumastuti
NIM : D061181003
Program Studi : Teknik Geologi
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

Analisis Potensi Batugamping Berdasarkan Kualitasnya Sebagai Bahan Baku Semen Portland Berdasarkan Analisa Geokimia PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk. Daerah Sumberarum Kecamatan Kerek Kabupaten Tuban Provinsi Jawa Timur

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa Skripsi yang saya tulis ini benar benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan Skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut

Gowa, 18 Oktober 2023

Yang menyatakan


Rafifah Ayu Kusumastuti

SARI

RAFIFAH AYU KUSUMASTUTI. *Analisis Potensi Batugamping Berdasarkan Kualitasnya Sebagai Bahan Baku Semen Portland Berdasarkan Analisa Geokimia PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk. Daerah Sumberarum Kecamatan Kerek Kabupaten Tuban Provinsi Jawa Timur (dibimbing oleh Asri Jaya HS dan Ulva Ria Irfan)*

Secara administratif daerah penelitian terletak pada daerah eksplorasi PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. pada Daerah Sumberarum, Kecamatan Kerek, Kabupaten Tuban, Provinsi Jawa Timur. Secara geografis daerah penelitian terletak pada koordinat $111^{\circ} 55' 15,6''$ BT - $111^{\circ} 56' 36,24''$ BT dan $6^{\circ} 52' 24,9''$ LS - $6^{\circ} 53' 43,24''$ LS.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui potensi batugamping sebagai bahan baku semen *portland* berdasarkan analisa geokimia pada Blok Tengah Temandang Kuari PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. serta menganalisis jenis batuan dasar terhadap potensi batugamping sebagai bahan baku semen *portland*. Metode yang digunakan berupa metode XRF dan petrografi.

Berdasarkan hasil penelitan, karakteristik geokimia pada batugamping pada daerah penelitian terdiri atas CaO dengan kisaran (45,86-55,92%), MgO dengan kisaran (0,21 – 4,355%), SiO₂ dengan kisaran (0,19-8,39%), Al₂O₃ dengan kisaran (0,07-5,29%), Fe₂O₃ dengan kisaran (0,11-2,45%), K₂O dengan kisaran (0,01-0,04%), Na₂O dengan kisaran (0,01-0,02%), H₂O dengan kisaran (3,8-6,20%). Pada daerah penelitian batuan dasar yang tersingkap berupa Batugamping Kristalin dan Batugamping Terumbu yang termasuk dalam Formasi Paciran. Berdasarkan data tersebut, Pada daerah penelitian terdapat empat kualitas batugamping sebagai bahan baku semen yaitu, *high grade*, *mix grade*, *dolomit*, dan *pedel*, yang dibedakan berdasar kandungan CaO dan MgO pada batuan. Batugamping yang baik sebagai bahan baku semen memiliki nilai CaO yang tinggi (>52%) dan MgO yang rendah (<3%). Faktor yang menyebabkan karakteristik geokimia tiap blok berbeda disebabkan oleh batuan dasar serta genesa pembentukan batuan tersebut.

Kata Kunci: Batugamping, Geokimia, Dolomit, Bahan dasar semen, Tuban

ABSTRACT

RAFIFAH AYU KUSUMASTUTI. *Potential Analysis of Limestone Based on Quality as a Raw Material of Portland Cement Based on Geochemistry Analyze PT. SEMEN INDONESIA (Persero) Tbk. Sumberarum Region, District of Kerek, Tuban Regency, East Jawa Province (Guided by : Asri Jaya HS and Ulva Ria Irfan)*

Administratively, the research area is located in the exploration area of PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk Sumberarum region, district of Kerek, Tuban regency, East Java province. Astronomically located on coordinate 111° 55' 15,6" - 111° 56' 36,24" east longitude (BT) and 6° 52' 24,9" - 6° 53' 43,24" south latitude (LS).

The purpose of this research to know the limestone potential as a raw material of portland cement based on geochemical analysis at the central block quarry of PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. and analyze the type of the hostrock for limestone potential of the portland cement. The method used is XRF (X-Ray Fluorescence) method and petrography analysis.

Based on research, the geochemical characteristics at the limestone on the research area consists of CaO with average levels (45,86-55,92%), MgO with average levels (0,21 – 4,355%), SiO₂ with average levels (0,19-8,39%), Al₂O₃ with average levels (0,07-5,29%), Fe₂O₃ with average levels (0,11-2,45%), K₂O with average levels (0,01-0,04%), Na₂O with average levels (0,01-0,02%), and H₂O with average levels (3,8-6,20%). On the research area, the bedrocks unit are Crystalline limestone and Reef limestone that included in Paciran Formation. Based on this data, there are four quality as a raw material for portland cement, high grade, mix grade, dolomit, and pedel distinguished by the content of CaO and MgO at that rock. The good limestone as a raw material for portland cement have a high value of CaO (>52%) and low value of MgO (<3%). Factors that make geochemical characteristic different at the block due to bedrock and the genesis of that rocks.

Keywords: *Limestone, Geochemistry, Dolomite, Raw Material of Portland Cement, Tuban*

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur kami ucapkan atas kehadiran Allah SWT. atas berkah dan rahmat-Nya sehingga kami dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **Analisis Potensi Batugamping Berdasarkan Kualitasnya Sebagai Bahan Baku Semen Portland Berdasarkan Analisa Geokimia PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. Daerah Sumberarum Kecamatan Kerek Kabupaten Tuban Provinsi Jawa Timur.**

Pada kesempatan ini, kami menyampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah membimbing, mengarahkan, dan membantu dalam pelaksanaan kegiatan penelitian ini di antaranya,

1. Bapak Almarhum Prof. Dr. Eng. Ir. Asri Jaya HS, S.T., M.T.,IPM sebagai dosen pembimbing utama kami yang selalu memberikan arahan dan mempermudah dalam proses pengolahan data, serta penulisan laporan. Terimakasih atas segala kemudahan yang Bapak berikan semoga Allah SWT. memberikan nikmat kubur untuk almarhum hingga hari kiamat tiba, dan semoga almarhum diberikan kelapangan kubur, serta ditempatkan di tempat terbaik di sisi Allah SWT. bersanding bersama Nabi Muhammad SAW.
2. Ibu Dr. Ulva Ria Irfan, S.T., M.T sebagai dosen pembimbing pendamping kami yang selalu memberikan arahan dan mempermudah dalam proses pengolahan data, serta penulisan laporan. Semoga Allah SWT selalu memberikan kelancaran atas segala urusan Ibu yang akan datang.
3. Bapak Dr. IR. H. Hamid Umar, MS sebagai dosen penguji kami yang telah meluangkan waktu untuk menguji dan membimbing kami. Semoga Allah SWT selalu memberikan kesehatan dan kelancaran atas segala urusan Bapak yang akan datang.
4. Bapak Sahabuddin Jumadil, S.T., M.Eng. sebagai dosen penguji kami yang telah meluangkan waktu untuk menguji dan membimbing kami. Semoga Allah SWT selalu memberikan kesehatan dan kelancaran atas segala urusan Bapak yang akan datang.

5. Bapak Dr. Sultan, S.T., M.T sebagai dosen pembimbing yang mewakili Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Asri Jaya HS, S.T., M.T.,IPM yang telah memberikan arahan dan masukan serta meluangkan waktu di tengah kesibukan Bapak. Semoga Allah SWT selalu memberikan kesehatan serta kelancaran atas segala urusan Bapak yang akan datang.
6. Bapak Dr. Eng. Hendra Pachri, S.T., M.Eng. sebagai Ketua Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Semoga Allah SWT selalu memberikan kelancaran atas segala urusan Bapak yang akan datang.
7. Bapak Ibu Dosen Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan ilmunya selama saya menempuh pendidikan perkuliahan.
8. Kepada Bapak Taju dan staff Teknik Geologi yang selalu membantu kami di Departemen Teknik Geologi
9. Kepada Bapak Subhan SE. MM. Ak, selaku Direktur Bisnis Dan Pemasaran PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. yang telah memberikan kesempatan kepada kami dalam pengambilan data tugas akhir di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk.
10. Kepada Bapak Ardy Zailani S.T, selaku Manager Operasi Tambang PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. yang menerima kami dengan baik dan memberikan kemudahan dalam pengambilan data tugas akhir di PT. Semen Indonesia.
11. Kepada Bapak Reza (SPV Supporting of Mining) dan Bapak Darul Setyawan (SPV Blasting) yang senantiasa setia mendampingi dalam pengambilan data tugas akhir di lapangan serta segenap karyawan PT. Semen Indonesia yang selalu membantu dan tidak dapat disebutkan satu per satu.
12. Kepada suami, Wadi Wijaya, yang senantiasa membantu dan mensupport penulis demi kelancaran dalam menyelesaikan pendidikan di perkuliahan.
13. Kepada Kedua Orangtua dan mertua kami yang senantiasa mengiringi do'a dan memberikan support kepada penulis demi kelancaran dalam menyelesaikan pendidikan di perkuliahan.
14. Kepada Adik kami, Merinda yang selalu memberikan jalan kepada penulis agar dilancarkan dan dimudahkan urusan-urusannya.

15. Saudara Lusiana dan Ratna (Teknik Geologi Universitas Diponegoro dan Teknik Geologi Universitas Jenderal Soedirman) dalam hal ini telah membantu dalam pengambilan dan pengolahan data serta menjadi ruang diskusi bagi penulis dalam penyusunan skripsi ini.
16. Teman-teman *Xenolith* (Teknik Geologi Angkatan 2018) yang selalu menjadi penyemangat penulis dalam pengerjaan laporan.
17. Semua rekan yang telah membantu penulis sampai detik ini dan belum sempat disebutkan.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan, oleh karenanya saran dan masukan sangat diharapkan oleh penulis demi perbaikan skripsi ini. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat baik dalam penambahan wawasan dan dapat dijadikan referensi pembaca dalam kegiatan penelitian selanjutnya.

Wassalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh

Gowa, Oktober 2023

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	ii
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
SARI	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Maksud dan Tujuan Penelitian.....	2
1.4. Letak, Waktu, dan Kesampaian Daerah.....	3
1.5. Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Geologi Regional	5
2.1.1. Geomorfologi Regional.....	6
2.1.2. Stratigrafi Regional	7
2.1.3. Struktur Geologi Regional	12
2.1.4. Geologi Daerah Penelitian	13
2.2. Batugamping	16
2.2.1. Genesa Batugamping	17
2.2.2. Komposisi Batugamping.....	17
2.2.3. Tekstur Dolomit pada Batuan Karbonat	21
2.2.4. Klasifikasi Batugamping	22
2.3. Pelapukan pada Batugamping	25
2.4. Semen Portland	26
2.4.1. Sifat Fisika dan Kimia Semen Portland	26
2.4.2. Klasifikasi Komposisi Batugamping sebagai Bahan Baku Semen menurut Duda (1975)	27

2.4.3.	ASTM Standart Internasional Semen Portland	27
2.4.4.	Sasaran Mutu <i>Quality Raw Material</i> PT. Semen Indonesia.....	28
2.4.5.	Klasifikasi Komposisi Batugamping sebagai Bahan Baku Semen Berdasarkan SNI 2049 : 2015	29
2.5.	Jenis - Jenis dan Tipe Semen Portland.....	30
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		33
3.1.	Metode Penelitian	33
3.2.	Tahapan Penelitian.....	34
3.2.1.	Tahapan Pendahuluan	35
3.2.2.	Tahapan Pengumpulan Data	35
3.2.3.	Tahapan Analisis.....	37
3.2.4.	Pengolahan Data	46
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		48
4.1.	Karakteristik Fisik Litologi Batugamping Daerah Penelitian	48
4.1.1.	Karakteristik Fisik Litologi Batugamping Stasiun 1.....	49
4.1.2.	Karakteristik Fisik Litologi Batugamping Stasiun 2.....	50
4.1.3.	Karakteristik Fisik Litologi Batugamping Stasiun 3.....	52
4.1.4.	Karakteristik Fisik Litologi Batugamping Stasiun 4.....	53
4.1.5.	Karakteristik Fisik Litologi Batugamping Stasiun 5.....	55
4.1.6.	Karakteristik Fisik Litologi Batugamping Stasiun 6.....	56
4.1.7.	Karakteristik Fisik Litologi Batugamping Stasiun 7.....	57
4.1.8.	Karakteristik Fisik Litologi Batugamping Stasiun 8.....	59
4.2.	Petrografi Batuan Dasar Daerah Penelitian.....	60
4.2.1.	Petrografi Batuan Dasar Stasiun 1	60
4.2.2.	Petrografi Batuan Dasar Stasiun 2	61
4.2.3.	Petrografi Batuan Dasar Stasiun 3	62
4.2.4.	Petrografi Batuan Dasar Stasiun 4	63
4.2.5.	Petrografi Batuan Dasar Stasiun 5	64
4.2.6.	Petrografi Batuan Dasar Stasiun 6	65
4.2.7.	Petrografi Batuan Dasar Stasiun 7	66
4.2.8.	Petrografi Batuan Dasar Stasiun 8	67
4.3.	Geokimia Batugamping Daerah Penelitian.....	68
4.3.1.	Geokimia Batugamping dengan Kualitas <i>High Grade</i>	68
4.3.2.	Geokimia Batugamping dengan Kualitas <i>Mix Grade</i>	71

4.3.3.	Geokimia Batugamping dengan Kualitas <i>Dolomit</i>	73
4.3.4.	Geokimia Batugamping dengan Kualitas <i>Pedel</i>	75
4.4.	Karakteristik Geokimia Kualitas <i>High Grade, Mix Grade, Dolomit, dan Pedel</i> 76	
4.4.1.	Senyawa CaO	77
4.4.2.	Senyawa MgO	78
4.4.3.	Senyawa SiO ₂	79
4.4.4.	Senyawa Al ₂ O ₃	80
4.4.5.	Senyawa Fe ₂ O ₃	81
4.4.6.	Senyawa K ₂ O	81
4.4.7.	Senyawa Na ₂ O	82
4.4.8.	Senyawa H ₂ O	83
4.5.	Hubungan Korelasi Antar Senyawa	83
4.5.1.	Silika Oksida (SiO ₂)	84
4.5.2.	Alumunium Oksida (Al ₂ O ₃)	85
4.5.3.	Magnesium Oksida (MgO)	85
4.5.4.	Besi Oksida (Fe ₂ O ₃)	86
4.5.5.	Kalsium Oksida (CaO)	87
4.5.6.	LOI (Loss on Ignition)	89
4.6.	Paleo Salinitas Berdasarkan Klasifikasi Kimia Batugamping Todd 1966	90
4.7.	Lime Saturation Factor (LSF)	91
4.8.	Rasio Silika (SR)	93
4.9.	Rasio Alumina	93
4.10.	Klasifikasi Kualitas Batugamping Sebagai Bahan Baku Semen <i>Portland</i> pada Daerah Penelitian	94
4.11.	Analisis Kualitas Batugamping Sebagai Bahan Baku Semen <i>Portland</i> Berdasarkan Sifat Fisik dan Kimia Batugamping	95
4.8.1.	Analisis Komposisi Kimia Senyawa Batugamping pada ST 1	96
4.8.2.	Analisis Komposisi Kimia Senyawa Batugamping pada ST 2	97
4.8.3.	Analisis Komposisi Kimia Senyawa Batugamping pada ST 3	98
4.8.4.	Analisis Komposisi Kimia Senyawa Batugamping pada ST 4	99
4.8.5.	Analisis Komposisi Kimia Senyawa Batugamping pada ST 5	100
4.8.6.	Analisis Komposisi Kimia Senyawa Batugamping pada ST 6	101
4.8.7.	Analisis Komposisi Kima Senyawa Batugamping pada ST 7	103
4.8.8.	Analisis Komposisi Senyawa Batugamping pada ST 8	104

4.12. Potensi Batugamping Sebagai Bahan Baku Semen <i>Portland</i>	105
BAB V PENUTUP	113
5.1. Kesimpulan	113
5.2. Saran	114
DAFTAR PUSTAKA	115
LAMPIRAN 1	117
LAMPIRAN 2	119
LAMPIRAN 3	121
LAMPIRAN 4	124
LAMPIRAN 5	128
LAMPIRAN 6	132
LAMPIRAN 7	141
LAMPIRAN 8	143
LAMPIRAN 9	145
LAMPIRAN 10	147

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1	Peta tunjuk lokasi daerah penelitian.....	3
Gambar 2	Peta topografi IUP lokasi daerah penelitian.....	5
Gambar 3	Peta tunjuk lokasi daerah penelitian pada peta geologi regional Lembar Jatirogo Jawa (Sumber : Peta Geologi Indonesia)	5
Gambar 4	Lengan timur Pulau Jawa yang menggambarkan perbedaan morfologi (pembagian mengikuti <i>Van Bemmelen</i> , 1949)	6
Gambar 5	Morfologi daerah penelitian berupa <i>karst</i>	7
Gambar 6	Stratigrafi regional daerah penelitian (<i>Van Vesseem.</i> , dkk, 1992)	12
Gambar 7	Sisa pelarutan yang membentuk lubang berongga dan tajam pada daerah penelitian yang mencirikan karst.....	14
Gambar 8	Puncak puncak berbentuk membulat pada daerah penelitian.....	15
Gambar 9	Bekas gua karst pada Blok W6 daerah penelitian pada koordinat 111.933482 BT – 6.879936 LS	16
Gambar 10	Klasifikasi tekstur dolomit (Sumber : Gregg dan Sibley, 1984).....	22
Gambar 11	Klasifikasi batugamping menurut Dunham (1962).....	23
Gambar 12	Diagram alir penelitian.....	34
Gambar 13	Observasi singkapan pada daerah penelitian.....	36
Gambar 14	Pengukuran kedudukan batuan pada daerah penelitian.....	36
Gambar 15	Pengambilan sampel pada daerah penelitian.....	37
Gambar 16	Sampel yang akan dimasukkan kedalam Laboratorium <i>Quality Control</i> PT. Semen Indonesia	38
Gambar 17	Furnace pada Lab <i>Quality Control</i> PT. Semen Indonesia.....	39
Gambar 18	Diagram alir prosedur analisa LOI.....	40
Gambar 19	Mesin Giling Herzog pada Lab <i>Quality Control</i> PT. Semen Indonesia	40
Gambar 20	Mesin Press Herzog I pada Lab <i>Quality Control</i> PT. Semen Indonesia	41
Gambar 21	Mesin XRF pada Lab <i>Quality Control</i> PT. Semen Indonesia.....	42
Gambar 22	Prosedur analisa XRF.....	42

Gambar 23	<i>Spreadsheet</i> hasil analisa Lab Quality Control PT. Semen Indonesia	43
Gambar 24	<i>Spreadsheet</i> hasil validasi data.....	44
Gambar 25	Klasifikasi batuan karbonat menurut Dunham (1962)	46
Gambar 26	Kenampakan litologi Batugamping Kristalin pada stasiun pengambilan sampel 1 Blok DD-6.....	50
Gambar 27	Kenampakan litologi batugamping kristalin pada stasiun pengambilan sampel 2 Blok Z-11	52
Gambar 28	Kenampakan litologi Batugamping Kristalin pada stasiun pengambilan sampel 3 pada Blok U-12	53
Gambar 29	Kenampakan litologi Batugamping Terumbu pada stasiun pengambilan sampel 4 Blok T-11	54
Gambar 30	Kenampakan litologi Batugamping Terumbu pada stasiun pengambilan sampel 5 Blok CC-6	56
Gambar 31	Kenampakan litologi Batugamping Terumbu pada stasiun pengambilan sampel 6 Blok V-18.....	57
Gambar 32	Kenampakan litologi Batugamping Terumbu pada stasiun pengambilan sampel 7 Blok R-18	58
Gambar 33	Kenampakan litologi Batugamping Kristalin pada stasiun pengambilan sampel 8 Blok AA-8.....	60
Gambar 34	Kenampakan petrografis Batugamping Kristalin pada sayatan tipis sampel ST 01 Blok DD-6 dengan kandungan mineral berupa Kalsit dan kandungan material berupa rongga.	61
Gambar 35	Kenampakan petrografis Batugamping Kristalin pada sayatan tipis sampel ST 02 Blok Z-11 dengan kandungan mineral berupa kalsit dan kandungan material berupa rongga	62
Gambar 36	Kenampakan petrografis Batugamping Kristalin pada sayatan tipis sampel ST 03 Blok U-12 dengan kandungan mineral berupa kalsit dan kandungan material berupa rongga	63
Gambar 37	Kenampakan petrografis Batugamping <i>Wackstone</i> pada sayatan tipis	

sampel ST 04 Blok T-11 dengan kandungan mineral berupa Kalsit dan Opak.	64
Gambar 38 Kenampakan petrografis Batugamping <i>Wackstone</i> pada sayatan tipis sampel ST 05 Blok CC-6 dengan kandungan material berupa fosil dan lempung karbonatan	65
Gambar 39 Kenampakan petrografis Batugamping <i>Wackstone</i> pada sayatan tipis sampel ST 06 Blok V- 18 dengan kandungan material berupa fosil dan lempung karbonatan.	66
Gambar 40 Kenampakan petrografis Batugamping <i>Wackstone</i> pada sayatan tipis sampel ST 07 Blok R-18 dengan kandungan mineral berupa Kalsit dan kandungan material berupa fosil.	66
Gambar 41 Kenampakan petrografis Batugamping Kristalin pada sayatan tipis sampel ST 08 Blok AA-8 dengan kandungan mineral berupa Kalsit dan kandungan material berupa rongga.	67
Gambar 42 Presentase kandungan senyawa CaO pada kualitas <i>high grade, medium grade, dolomit, dan pedel</i>	77
Gambar 43 Presentase kandungan senyawa MgO pada kualitas <i>high grade, medium grade, dolomit, dan pedel</i>	78
Gambar 44 Presentase kandungan senyawa SiO ₂ pada kualitas <i>high grade, medium grade, dolomit, dan pedel</i>	79
Gambar 45 Presentase kandungan senyawa Al ₂ O ₃ pada kualitas <i>high grade, medium grade, dolomit, dan pedel</i>	80
Gambar 46 Presentase kandungan senyawa Fe ₂ O ₃ pada kualitas <i>high grade, medium grade, dolomit, dan pedel</i>	81
Gambar 47 Presentase kandungan senyawa K ₂ O pada kualitas <i>high grade, medium grade, dolomit, dan pedel</i>	82
Gambar 48 Presentase kandungan senyawa Na ₂ O pada kualitas <i>high grade, medium grade, dolomit, dan pedel</i>	82
Gambar 49 Presentase kandungan senyawa H ₂ O pada kualitas <i>high grade, medium grade, dolomit, dan pedel</i>	83
Gambar 50 <i>Bivariate plots</i> antara senyawa SiO ₂ dengan Al ₂ O ₃ , MgO, Fe ₂ O ₃ , dan	

CaO.....	84
Gambar 51 <i>Bivariate plots</i> antara senyawa Al_2O_3 dengan SiO_2 , MgO , Fe_2O_3 , dan CaO.....	85
Gambar 52 <i>Bivariate plots</i> antara senyawa MgO dengan SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , dan CaO.....	86
Gambar 53 <i>Bivariate plots</i> antara senyawa Fe_2O_3 dengan SiO_2 , Al_2O_3 , MgO , dan CaO.....	87
Gambar 54 <i>Bivariate plots</i> antara senyawa CaO dengan SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , dan MgO	88
Gambar 55 <i>Bivariate plots</i> senyawa LOI dengan SiO_2 , CaO , Al_2O_3 , dan MgO ..	89

DAFTAR TABEL

Tabel 1	Komposisi batugamping berdasarkan kadar dolomit Pettijohn (1949) dalam buku Sukandarrumidi (2004).....	24
Tabel 2	Klasifikasi batugamping berdasar rasio Ca/Mg (Todd, 1966).....	24
Tabel 3	Komposisi raw material PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk.....	26
Tabel 4	Komposisi senyawa batugamping menurut Duda (1975).....	27
Tabel 5	Persyaratan kimia semen <i>portland</i> (ASTM C 150-07)	28
Tabel 6	Sasaran mutu <i>quality control raw material</i> PT. Semen Indonesia ...	29
Tabel 7	Standar Nasional Indonesia persyaratan kimia semen <i>portland</i> (SNI Semen <i>Portland</i> , 2015)	29
Tabel 8	Contoh data statistik senyawa SiO ₂	45
Tabel 9	Data analisa kimia pada kualitas <i>high grade</i>	69
Tabel 10	Data statistik senyawa pada kualitas <i>high grade</i>	70
Tabel 11	Data analisa kimia pada kualitas <i>mix grade</i>	71
Tabel 12	Data statistik senyawa pada kualitas <i>mix grade</i>	72
Tabel 13	Data analisa kimia pada kualitas <i>dolomit</i>	73
Tabel 14	Data statistik senyawa pada kualitas <i>dolomit</i>	74
Tabel 15	Data analisa kimia pada kualitas <i>pedel</i>	75
Tabel 16	Data statistik senyawa pada kualitas <i>pedel</i>	75
Tabel 17	Perbandingan kadar senyawa tiap kualitas	76
Tabel 18	Klasifikasi Kimia Batugamping (Todd, 1966) pada sampel batuan .	90
Tabel 19	LSF, Rasio Alumina, dan Data Modulus Silika batugamping daerah penelitian	91
Tabel 20	Pengklasifikasian standar bahan baku semen pada ST 1	96
Tabel 21	Pengklasifikasian standar bahan baku semen pada ST 2	97
Tabel 22	Pengklasifikasian standar bahan baku semen pada ST 3	98
Tabel 23	Pengklasifikasian standar bahan baku semen pada ST 4	99
Tabel 24	Pengklasifikasian standar bahan baku semen pada ST 5	101
Tabel 25	Pengklasifikasian standar bahan baku semen pada ST 6	102

Tabel 26 Pengklasifikasian standar bahan baku semen pada ST 7	104
Tabel 27 Pengklasifikasian standar bahan baku semen pada ST 8	105
Tabel 28 Grafik keterkaitan petrografi terhadap kualitas batugamping.....	112

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Peta Geologi Regional Lembar Jatirogo Jawa.....	117
Lampiran 2 Peta Geologi Regional Daerah Penelitian	119
Lampiran 3 Analisa XRF Sampel Daerah Penelitian.....	121
Lampiran 4 Klasifikasi Batugamping (Todd, 1966)	124
Lampiran 5 Penamaan Batugamping Menurut Klasifikasi Pettijohn (1949)...	128
Lampiran 6 Deskripsi Petrografi Sampel Penelitian	132
Lampiran 7 Peta Topografi Daerah Penelitian PT. Semen Indonesia.....	141
Lampiran 8 Peta Geologi Daerah Penelitian PT. Semen Indonesia.....	143
Lampiran 9 Peta Pengambilan Titik Sampel PT. Semen Indonesia.....	145
Lampiran 10 Peta Sebaran Kualitas Batugamping PT. Semen Indonesia	147

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dalam pengupayaan pembangunan infrastruktur dibutuhkan alat serta bahan penunjang agar pembangunan infrastruktur dapat diwujudkan dengan baik. Salah satu bahan yang penting perannya dalam pembangunan infrastruktur adalah semen. Seiring dengan pertumbuhan laju populasi penduduk semakin bertambah pula kebutuhan semen di Indonesia. Kebutuhan batugamping sebagai bahan baku utama pun meningkat seiring dengan naiknya kebutuhan semen. (Rubiono, 2016).

Batugamping merupakan bahan baku utama dalam pembuatan semen *portland*. Oleh karena peningkatan pembangunan infrastruktur diiringi dengan meningkatnya kebutuhan semen perlu dilakukan analisa terhadap kualitas batugamping sebagai cadangan pasokan semen guna mendapatkan bahan baku semen yang baik untuk industri semen agar tetap terjaga serta memperoleh infrastruktur yang baik.

Pada eksplorasi batugamping sebagai bahan baku utama semen *portland* analisis mengenai sebaran batugamping dengan kualitas yang rendah hingga kualitas tinggi diperlukan dalam menunjang kelayakan batugamping sebagai bahan baku semen *portland*. Perbedaan kualitas pada batugamping sangat dipengaruhi oleh kadar CaO pada batuan tersebut. Di sisi lain, batugamping memiliki karakteristik yang berbeda-beda bergantung pada jenis batugamping yang dipengaruhi oleh tingkat pelapukan maupun dolomitisasi pada batugamping tersebut. Untuk mempermudah eksplorasi bahan baku semen *portland*, pada penelitian ini akan dicari jenis batugamping yang memiliki kadar CaO rendah hingga tinggi berdasarkan karakteristik secara geologi di lapangan dikorelasikan dengan geokimia pada batugamping tersebut. Dalam menjaga pasokan batugamping yang sesuai dengan kualitas batugamping ke pabrik semen, maka karakteristik petrologi dan geokimia batugamping sangatlah penting.

Berdasarkan kurikulum yang ada di Program Studi Teknik Geologi Universitas Hasanuddin setiap mahasiswa wajib untuk mengajukan tugas akhir sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik geologi.

Dalam pelaksanaan tugas akhir ini penulis mengambil data melalui pengambilan data lapangan serta data yang dapat dianalisis pada suatu perusahaan pertambangan semen. Dalam hal ini penulis sangat mengharapkan bantuan dari pihak PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk.

1.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Bagaimana karakteristik batugamping yang terdapat di daerah penelitian?
- b. Bagaimana karakteristik geokimia batugamping pada daerah penelitian?
- c. Bagaimana hubungan antara jenis batugamping pada daerah penelitian dengan kualitas bahan baku semen portland?

1.3. Maksud dan Tujuan Penelitian

Maksud dari dilakukannya penelitian ini adalah untuk melakukan analisis kualitas batugamping berdasarkan kadar senyawa CaO dan MgO melalui penambangan quarry pada Blok Tengah BK Temandang PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. Daerah Sumberarum, Kecamatan Kerek, Kabupaten Tuban, Provinsi Jawa Timur secara umum menggunakan peta dasar skala 1 : 11.000.

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengetahui jenis batugamping berdasarkan karakteristik fisik, petrografi, dan pelapukan batugamping pada daerah penelitian, mengetahui karakteristik geokimia batugamping sebagai bahan baku utama semen *portland* pada daerah penelitian, serta mengetahui hubungan antara jenis batugamping pada daerah penelitian dengan kualitas batugamping sebagai bahan baku semen *portland* berdasarkan klasifikasi komposisi batugamping sebagai bahan baku semen *portland*.

1.4. Batasan Masalah

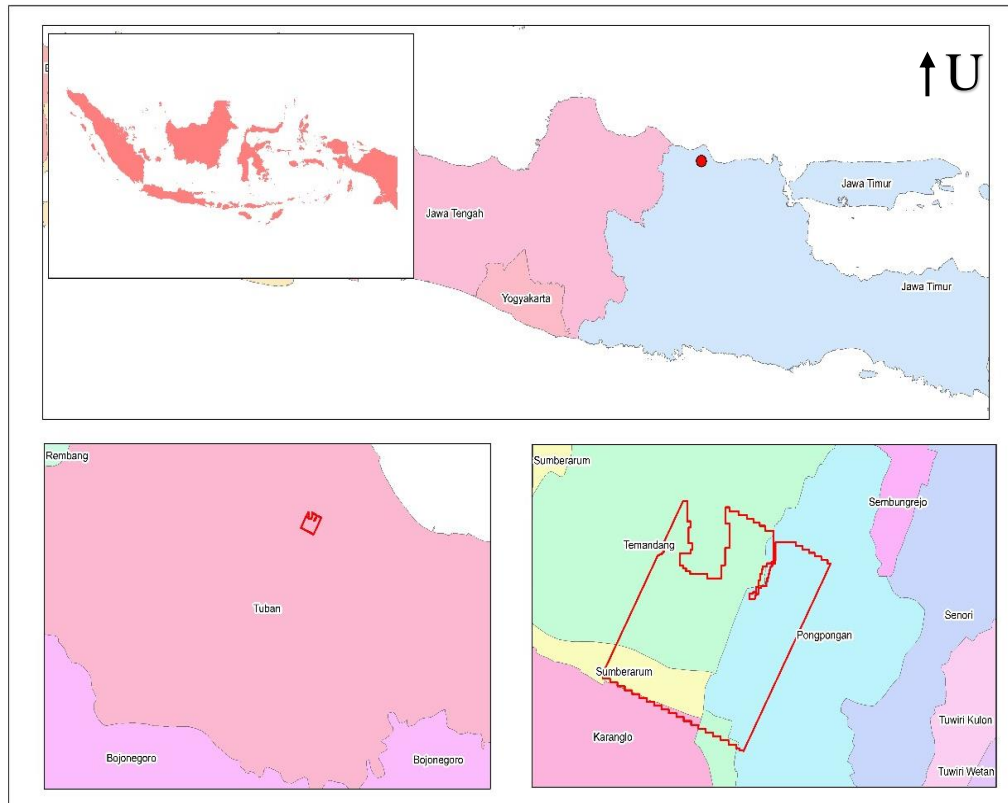
Batas penelitian ini dilakukan terbatas pada jenis batugamping, karakteristik geokimia batugamping pada PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. melalui pengambilan contoh batuan di lapangan serta analisa laboratorium berupa analisa XRF dan petrografi. Petrografi digunakan untuk mengetahui komposisi batuan melalui sayatan tipis. XRF digunakan untuk mengetahui komposisi kimia batuan melalui analisa unsur logam pada batuan.

1.4. Letak, Waktu, dan Kesampaian Daerah

Secara administratif daerah penelitian terletak dalam daerah Sumbearum, Kecamatan Kerek, Kabupaten Tuban, Provinsi Jawa Timur dan secara geografis secara geografis daerah penelitian terletak pada $6^{\circ} 52' 24,9''$ - $6^{\circ} 53' 43,24''$ LS dan $111^{\circ} 55' 15,6''$ - $111^{\circ} 56' 36,24''$ BT. Daerah penelitian terpetakan dalam Peta Geologi Lembar Jatirogo, Lembar 1509 nomor 1509-2 Peta Rupa Bumi Indonesia Skala 1 : 100.000 yang ditebitkan BAKOSUTARNAL Tahun 1999. Izin Usaha Pertambangan pada daerah penelitian mencakup 797,4379 Hektar dengan jenis komoditas berupa semen sedangkan daerah penelitian dilakukan pada Blok Tengah Temandang PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. dengan luas daerah sebesar 311,5 Hektar.

Waktu dilaksanakannya penelitian selama 3 bulan sejak Bulan Desember Tahun 2022 hingga Bulan Februari Tahun 2023.

Daerah penelitian terletak 952 kilometer di sebelah barat barat daya dari Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Daerah penelitian ditempuh dengan menggunakan transportasi udara berupa pesawat terbang dengan waktu ± 45 menit perjalanan dari Bandara Internasional Sultan Hasanuddin. Selanjutnya perjalanan dilanjutkan dengan transportasi darat dari Bandara Internasional Juanda sejauh 141 kilometer ke arah baratlaut dengan rentang waktu perjalanan selama ± 3 jam menuju *Site of Mining* PT. Semen Indonesia (Pesero) Tbk. di Desa Sumberarum Kecamatan Kerek, Kabupaten Tuban, Provinsi Jawa Timur.



Gambar 1 Peta tunjuk lokasi daerah penelitian

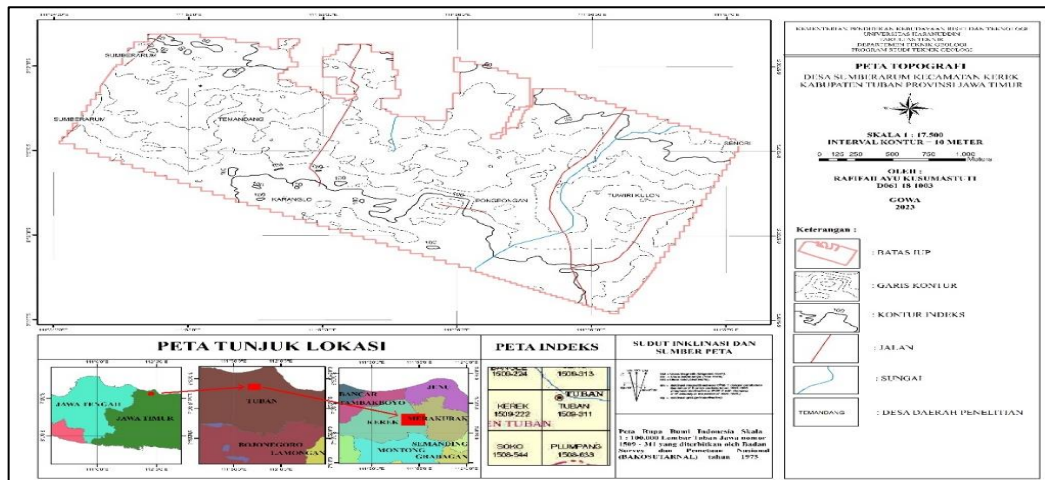
1.5. Manfaat Penelitian

Secara umum manfaat penelitian ini sebagai referensi mengenai karakteristik geokimia pada batugamping guna mengetahui kualitas batugamping yang layak digunakan sebagai bahan baku semen maupun sebagai referensi untuk penelitian yang akan datang.

BAB II

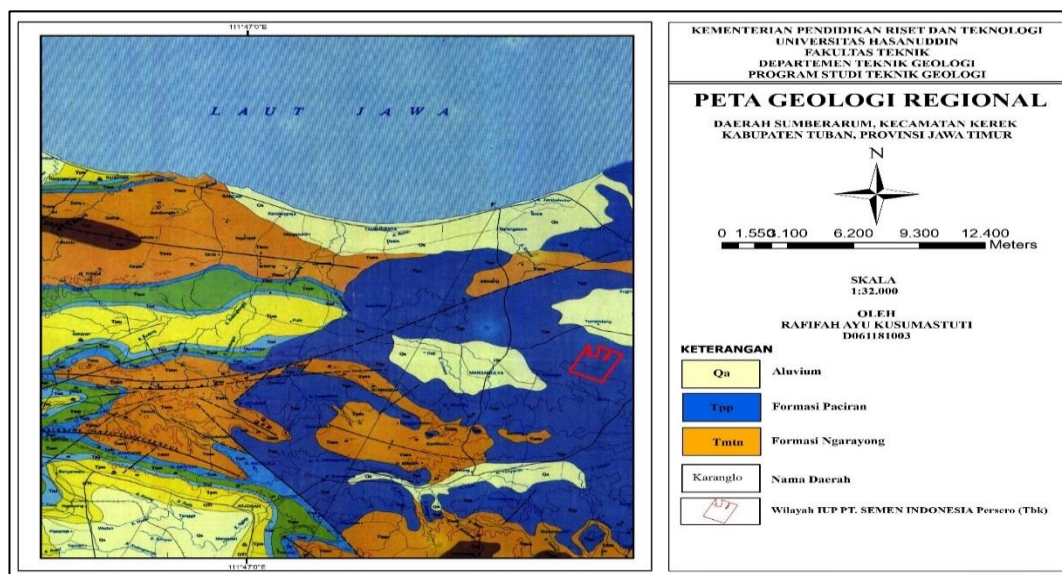
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Geologi Regional



Gambar 2 Peta topografi IUP lokasi daerah penelitian

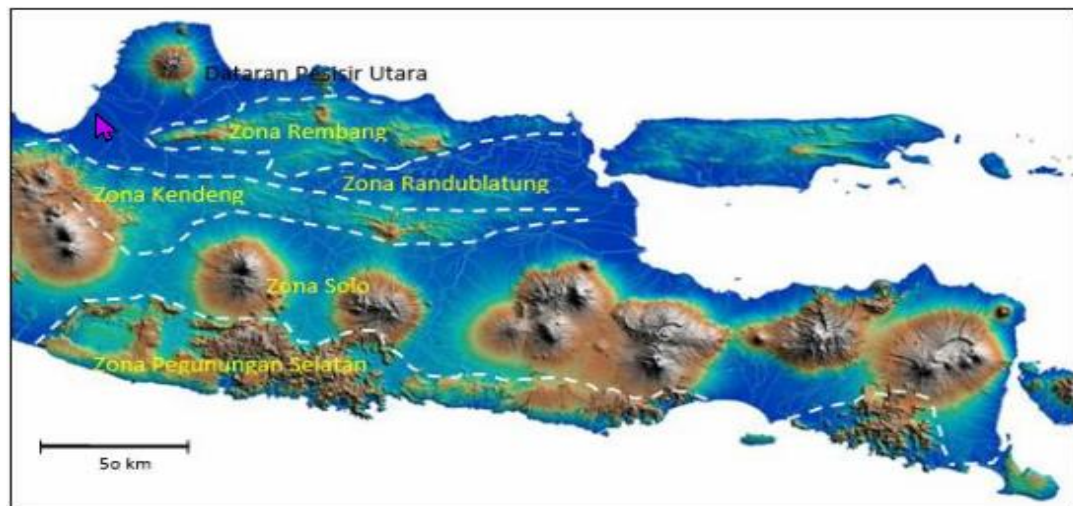
Geologi regional daerah penelitian termasuk dalam Peta Geologi Lembar Jatirogo Jawa skala 1 : 100.000 oleh R. L. Situmorang Smith dan E.J. Van Vessem (1992). Pembahasan geologi regional terdiri dari penjelasan mengenai geomorfologi regional daerah penelitian, stratigrafi regional daerah penelitian, dan tektonik regional daerah penelitian.



Gambar 3 Peta tunjuk lokasi daerah penelitian pada Peta Geologi Regional Lembar Jatirogo Jawa (Sumber : Peta Geologi Regional Indonesia)

2.1.1. Geomorfologi Regional

Geomorfologi merupakan studi bentuk lahan dan proses - proses yang mempengaruhi pembentukannya dan menyelidiki hubungan antara bentuk dan proses dalam tatanan keruangannya. (Van Zuidam, 1979).



Gambar 4 Lengan timur Pulau Jawa yang menggambarkan perbedaan morfologi (pembagian mengikuti *Pannekoek, 1949, Van bemmelen 1949*)

Secara umum morfologi daerah penambangan dibagi menjadi dua satuan yaitu :

1. Satuan perbukitan hingga pegunungan karst batugamping. Satuan bentuk lahan ini dicirikan dengan relief berbukit kasar, puncak-puncak berbentuk membulat (conical), lereng terjal. Pada morfologi karst sering dijumpai adanya gua-gua, stalaktit dan stalakmit dan sungai bawah permukaan tanah. Elevasi berkisar antara 100 – 150 m dpal. Proses geomorfologi yang terjadi adalah pelapukan kimia (solusi), erosi dan runtuhannya massa batuan. Litologi terdiri atas batugamping keras (Ketak), kalsit, Batugamping Dolomitan dan Napal. Pada satuan ini memiliki sumber bahan galian C terutama gamping kalsit dan gamping dolomitan.
2. Satuan morfologi dataran aluvial. Bentuk lahan dataran aluvial dicirikan dengan relief datar, kemiringan lereng kurang 3%, elevasi antara 0 – 50 m dpal. Proses geomorfologi yang terjadi adalah banjir dan sedimentasi. Litologi tersusun oleh bahan endapan banjir sungai dan aliran permukaan

(over land flow) terdiri atas pasir, lempung, lanau, kerikil dan kerakal. Pada alur sungai dari beberapa sungai dijumpai pasir dan gravel sebagai sumber bahan galian C.



Gambar 5 Morfologi daerah penelitian berupa perbukitan karst

2.1.2. Stratigrafi Regional

Menurut hasil pemetaan geologi yang dilakukan oleh Van Vessem (1949), daerah ini termasuk kedalam fisiografi Cekungan Rembang. Stratigrafi regional Cekungan Rembang ini mulai dari yang tertua sampai yang termuda adalah sebagai berikut :

1. Formasi Tawun

Formasi Tawun tersusun oleh napal pasiran berselingan dengan batugamping bioklastika. Napal pasiran yang dijumpai berwarna coklat kekuningan, berbutir halus sampai sedang dan berlapis dengan ketebalan dari 5 sampai 10 cm. Batugamping bioklastika berwarna coklat sampai kelabu berlapis dengan ketebalan antara 20 - 40 cm dan banyak mengandung foraminifera besar. Berdasarkan kandungan foraminifera besar yang ditemukan menunjukkan bahwa formasi ini berumur Miosen Awal dengan kondisi lingkungan pengendapannya laut agak dangkal. Formasi ini tersebar di bagian utara yaitu di bagian tengah Kali (K.) Boncong dan di hulu K. Lambang dengan sebaran berarah timur – barat membentuk

antiklin Lodan, sedangkan dibagian selatan menerus ke kabupaten Bojonegoro. Penamaannya berasal dari Desa Tawun yang nama sebelumnya "Orbitoiden Kalk (OK)" (Trooster, 1937; Marks, 1957) dan Anggota Tawun Formasi Tuban (Brouwer, 1957).

2. Formasi Ngrayong

Tersebar di daerah bagian utara Kabupaten Tuban dan bagian Tengah. Pada bagian utara memanjang arah barat timur mulai dari Ngandang - Ngaglik - Sima - Sriwing sampai Cakrawa dan Mliwang - Bugang terletak pada sayap antiklin Lodan. Pada bagian tengah dijumpai di tersebar di sekitar Mawun - Tawiwiyah dan Sidonganti - Barikulon. Tersusun oleh batupasir kuarsa yang berselingan dengan batugamping dan batulanau. Batupasir kuarsa yang dijumpai berwarna putih sampai kuning kecoklatan, berbutir halus sampai sedang yang semakin kasar ukuran butirnya ke arah atas, berbentuk menyudut tanggung, kondisi batuannya kurang kompak sampai lepas tersusun oleh mineral kuarsa, felspar, mika dan mineral hitam. Struktur perlapisan yang ada kurang baik dan secara setempat dijumpai lapisan batubara setebal 20 - 50 cm. Batugamping berwarna coklat kekuningan, kompak berlapis baik dengan ketebalan antara 10 - 50 cm, mengandung foraminifera besar. Di bagian bawah, batugamping ini merupakan lensa dan semakin ke arah atas semakin tebal dan semakin rapat. Batulempung, berwarna kelabu, coklat hingga ungu merupakan selingan dibagian tengah dan atas, setempat menyerpih dan mengandung mika dan foraminifera kecil. Secara setempat dijumpai endapan gypsum dan sisa tumbuhan.

Berdasarkan kumpulan fosil foraminifera yang ditemukan Anggota Ngrayong diperkirakan berumur Miosen Tengah bagian bawah dengan lingkungan pengendapannya laut dangkal (litoral). Nama ini diperkenalkan oleh Brouwer (1957) dari Desa Ngrayong, sedangkan nama sebelumnya adalah "Rembangschichten" (Martin, 1912), Orbitoiden Kalk (OK) Atas" (Trooster, 1937), dan Lapisan Rembang Atas (Van Bemmelen, 1949).

3. Formasi Bulu

Tersusun oleh batugamping pasiran dengan sisipan napal pasiran. Tersebar sangat terbatas pada beberapa daerah yaitu sayap antiklin Jamprono (G. Batang -

G. Tewu), antiklin Sentul (G. Bancang - G. Geritan). Batugamping pasiran berwarna putih - kalbu hingga coklat kekuningan, berbutir halus hingga kasar, menunjukkan struktur pelat (platy) setebal antara 5 - 20 cm, pada umumnya dijumpai adanya struktur perlapisan silang - siur, kompak dan secara setempat pejal, mengandung mineral kuarsa, foraminifera, moluska dan koral. Napal pasiran berwarna coklat kekuningan mengandung foraminifera dan cangkang moluska. Dari hasil pengamatan foraminifera besar yang dapat dikenali disimpulkan bahwa Formasi Bulu diendapkan di lingkungan laut dangkal pada kala Miosen Tengah bagian atas.

4. Formasi Wonocolo

Formasi Wonocolo tersusun oleh napal pasiran yang berselingan dengan Batugamping Pasiran. Tersebar memanjang pada arah barattimur di daerah Banjarsari, Terongan dan G. Nalatita - Kebonduren sampai Ketringan Wetan. Napal pasiran yang dijumpai berwarna kelabu kehijauan sampai coklat kekuningan, mengandung foraminifera kecil yang melimpah, mineral kuarsa, glaukonit dan mika secara setempat ditemukan bekas galian cacing. Batugamping Pasiran yang secara teratur berselingan dengan napal pasiran, secara umum berwarna kelabu sampai coklat mengandung mineral kuarsa, glaukonit dan foraminifera kecil, dijumpai perlapisan dengan ketebalan antara 15 - 20 cm. Berdasarkan fosil foraminifera yang dijumpai disimpulkan bahwa Formasi wonocolo diendapkan pada lingkungan laut dalam pada kala Miosen Akhir bagian bawah. Nama lain dari Formasi Wonocolo adalah Anggota Wonocolo Formasi Globigerina (Trooster, 1937), Anggota Wonocolo Formasi Kawengan (Brouwer, 1957), dan Lapisan Wonocolo (Van Bemmelen, 1949).

5. Formasi Ledok

Formasi Ledok tersusun oleh Batupasir Glaukonitan berselingan dengan Batugamping Pasiran. Batupasir glaukonitan yang dijumpai berwarna kelabu kehijauan, bersifat gampingan mulai dari kurang kompak hingga kompak. Mineral pembentuk utama batupasir ini adalah kepingan kuarsa dan glaukonit berukuran halus hingga kasar dengan bentuk menyudut tanggung hingga membuldar tanggung, terpilah sedang, tersemen oleh batuan karbonat serta berlapis baik

dengan tebal lapisan antara 20 - 40 cm, pada beberapa tempat menunjukkan adanya struktur silang-siur. Secara berangsur ke arah atas ukuran butirnya semakin kasar dan jumlah glaukonitnya juga semakin banyak. Batugamping pasiran yang dijumpai berwarna kelabu muda, kompak dan berlapis baik dengan ketebalan antara 15 - 20 cm, mengandung mineral kuarsa dan glaukonit serta foraminifera kecil dalam jumlah yang banyak. Formasi Ledok diendapkan pada lingkungan laut dangkal (litoral) pada kala Miosen Akhir, dijumpai disekitar daerah Jatirogo yang menyebar ke arah barat-timur. Nama sebelumnya adalah Anggota Ledok Formasi Globigerina (Trooster, 1937).

6. Formasi Mundu

Formasi Mundu terdiri dari napal, batulempung lanauan dan batugamping napalan. Tersebar pada arah barat-timur sesuai dengan arah berkembangnya struktur antiklinorium dengan lokasi penyebaran di Kedungringin pada sayap antiklin Lodan dan Mrayun - Kalangtengah, Sidomukti, dan sekitar Jojogan. Napal yang ditemukan berwarna putih, kelabu, kehijauan bersifat kurang kompak hingga kompak dengan struktur perlapisan yang hampir mendatar yang pada permukaannya dijumpai adanya rekahan. Pada bagian bawah umumnya bersifat lempungan dan pasiran kaya akan foraminifera kecil dan moluska secara setempat dijumpai adanya jejak galian cacing. Batulempung lanauan berwarna kelabu kehitaman, merupakan lensa dan konkresi di dalam napal. Sedangkan batugamping napalan yang dijumpai bersifat lempungan mengandung mineral kuarsa, glaukonit dan foraminifera. Batuan ini merupakan sisipan dalam napal dan sebarannya tidak merata. Lingkungan pengendapannya merupakan lingkungan pengendapan laut dalam sampai neritik dan berumur Pliosen. Nama lain adalah Jenjang Mundu (Trooster, 1937), Globigerina Mari (van Bernmelen, 1949), Mundu Member (Marks, 1957) dan Anggota Mundu Formasi Kawengan (Brouwer, 1957).

7. Formasi Paciran

Formasi Paciran terdiri dari Batugamping Dolomitan yang umumnya berupa terumbu, tersebar paling luas bila dibandingkan dengan formasi yang lain. Organisme pembentuknya adalah ganggang, koral, litotamnium dan foraminifera. Berwarna putih, kelabu, coklat hingga merah daging, tanah hasil pelapukannya

berwarna merah, sangat kompak dan sebagian terhablurkan terutama pada bagian atas, secara setempat bersifat dolomitan dan gloukunitan, tidak dijumpai adanya perlapisan. Pada permukaan batuan umumnya berongga dan tajam akibat adanya proses pelarutan oleh air. Banyak dijumpai sungai bawah tanah dan gua batugamping yang secara setempat ditemukan endapan fosfat. Umur dari formasi ini sulit untuk ditentukan karena tidak ditemukan adanya fosil penunjuk yang dapat dipergunakan untuk menentukan umurnya. Berdasarkan kedudukan stratigrafi yang menjemari dengan Formasi Mundu maka Formasi Paciran diduga berumur Pliosen yang diendapkan pada kondisi lingkungan laut terbuka, tenang dan hangat sehingga memungkinkan tumbuhnya organisme. Nama lain yang kadang dipakai adalah Formasi Kalibeng (Duyfles, 1936; Hartono, 1973), Batugamping Karren (Trooster, 1937), Karren Kalk (van Bemmelen, 1949) dan Formasi Madura (Brouwer, 1957).

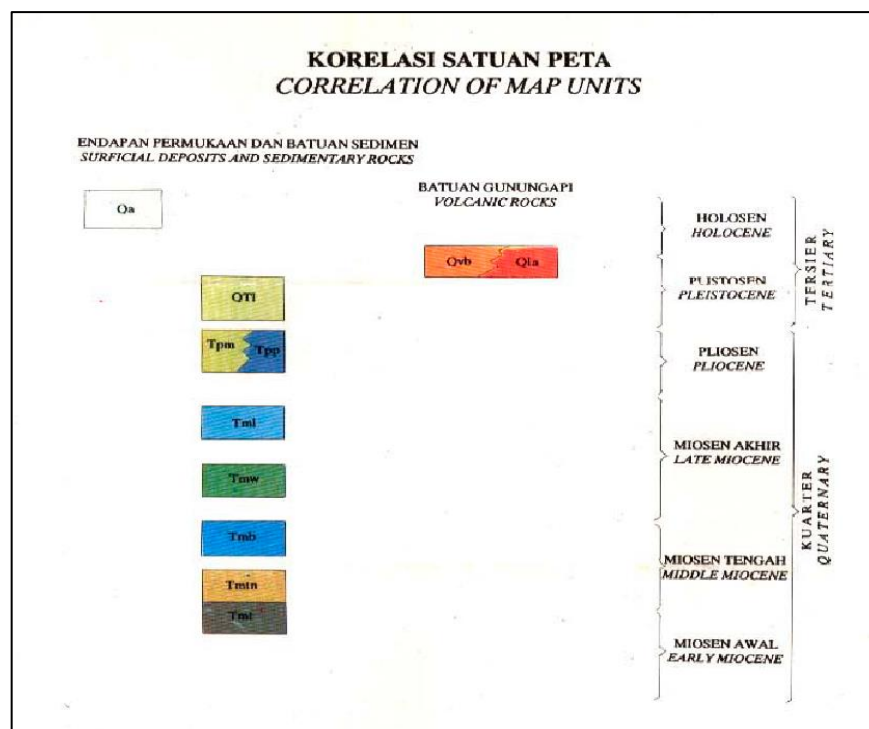
8. Formasi Lidah

Formasi lidah tersusun oleh batulempung, lempunghitam di bagian atas dan batupasir dibagian bawah. Dijumpai pada bagian tengah yaitu di daerah Bate Ngrayung dan Jojogan. Batulempung yang ditemukan berwarna kelabu kebiruan bersifat kurang kompak dan tidak berlapis. Lempung hitam bersifat pasiran banyak mengandung sisa tumbuhan. Sedangkan batupasir berwarna coklat kehitaman, berbutir halus hingga kasar, bersifat kurang kompak dijumpai adanya struktur perairan bersilang mengandung mineral kuarsa dan foraminifera kecil dan moluska. Berdasarkan kandungan fosil foraminifera yang ada ditafsirkan bahwa formasi ini diendapkan pada lingkungan laut dangkal dan diperkirakan berumur Plio-Plistosen. Satuan ini sebelumnya disebut sebagai "Mergel Ton" (Trooster, 1937, Koesoemadinata, 1978), "Blue Clays" (van Bemmelen, 1949), "'Turi-Domas Formation" (Marks, 1957), "'Lidah-Clays Formation" (Brouwer, 1957), Formasi Lidah (Koesoemadinata, 1969).

9. Endapan Kuater (Holosen)

Aluvium merupakan satuan batuan yang berumur paling muda yaitu Kuarter (Holosen) tersusun oleh pasir, lempung, lanau dan kerikil hasil dari kegiatan sungai (fluviatil) dan gelombang. Endapan fluvial terbentuk akibat aktivitas Bengawan Solo dan anak sungainya yang mengendapkan material yang terbawa pada saat

banjir atau melimpah. Saat ini proses pengendapannya masih berlangsung. Endapan yang dijumpai pada dataran pantai dominan berukuran pasir berasal dari material yang terbawa aliran sungai dan masuk ke dalam laut. Material tersebut telah mengalami sortasi oleh gelombang laut dan mempunyai ukuran yang seragam. Material yang berukuran lebih halus (lanau dan lempung) tersuspensi dalam air laut yang kemudian diendapkan di dasar laut. Pada saat ini banyak terjadi aktifitas gelombang yang mengerosi endapan pasir pantai yang telah ada sehingga pada beberapa kawasan pantai daratannya menjadi berkurang (pantai mundur). Endapan Kuartar terdapat pada lembah-lembah antar pebukitan, yang terbentuk akibat proses pelapukan, erosi dan sedimentasi, seperti yang terdapat di daerah Montong, Margamulya dan Mulyasari.



Gambar 6 Stratigrafi regional daerah penelitian (Van Vessem., dkk., 1992)

2.1.3. Struktur Geologi Regional

Struktur geologi yang berkembang di kawasan ini adalah struktur lipatan, sesar, dan kekar. Batugamping di daerah Kabupaten Tuban, khususnya di sekitar Kecamatan Merakurak, terlipat dan tersesarkan karena kegiatan tektonik. Sumbu

perlipatan yang berarah Barat-Timur merupakan rangkaian dari struktur antiklin dan sinklin. Pengaruh tektonik yang dialami oleh batuan menyebabkan sebagian besar singkapan batugamping terkekarkan. Menerusnya pola hasil deformasi pada Formasi Paciran, mengindikasikan jika tektonik di daerah ini berumu muda. Sistem percelah-retakan dan kekar yang terbentuk pada Formasi Paciran menjadikan sebagian singkapannya sebagai daerah resapan, yang berfungsi menyalurkan air permukaan hingga mencapai lapisan batugamping (yang juga terkekarkan) di kedalaman tanah. Struktur kekar hampir dijumpai di seluruh daerah penelitian. Alur-alur pada perbukitan gamping ditafsirkan terjadi karena adanya sistem kekar. Struktur sesar di daerah batugamping dengan segala ciri khasnya sangatlah sulit untuk ditemukan mengingat sifat-sifat batuan ini yang sangat berbeda dengan jenis batuan lain terutama sifat mudah melarut pada media air yang bersifat asam. Hal tersebut mengakibatkan jejak-jejak struktur sesar seperti cermin sesar dan gores garis sulit untuk didapatkan. Struktur sesar normal atau turun ditemukan di beberapa tempat yang dicirikan oleh adanya gawir sesar yang terdapat pada sayap-sayap antiklin.

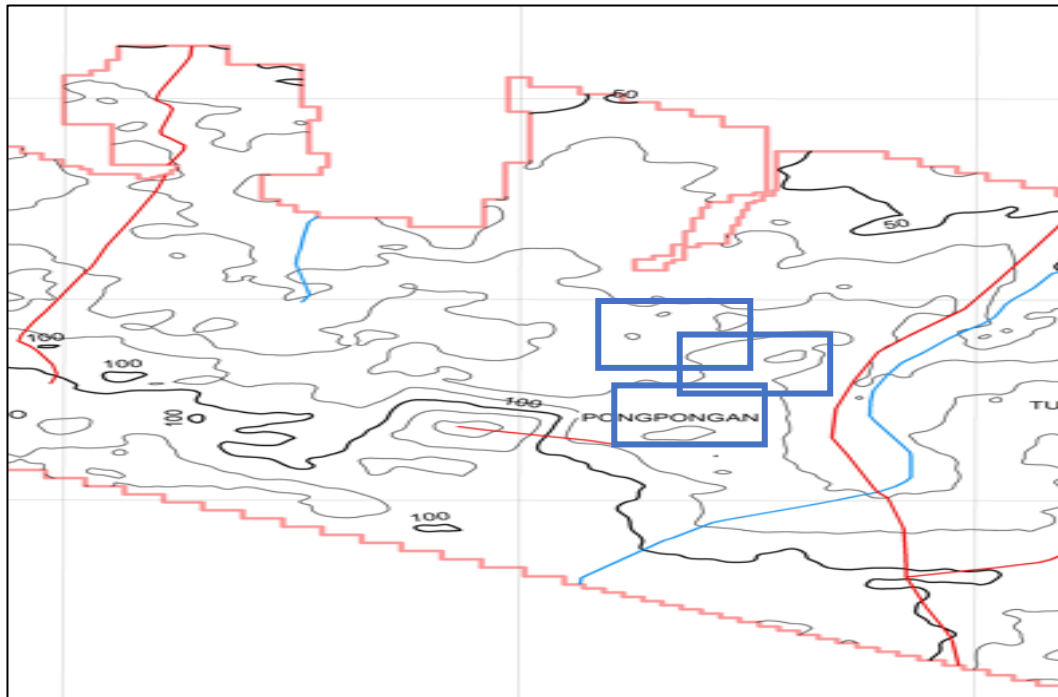
2.1.4. Geologi Daerah Penelitian

Satuan bentuk lahan pada daerah penelitian dicirikan dengan relief berbukit kasar, puncak-puncak berbentuk membulat (conical), lereng terjal. Pada morfologi karst daerah penelitian dijumpai adanya gua-gua karst. Elevasi pada daerah penelitian berkisar antara 59 - 115 m dpal. Proses geomorfologi yang terjadi adalah pelapukan kimia (solusi), erosi dan runtuhannya massa batuan. Berdasarkan ciri yang ada maka satuan daerah penelitian terdiri dari Satuan Perbukitan Gelombang Karst (K2) yang dibentuk oleh batugamping. Satuan morfologi perbukitan bergelombang karst batugamping, memiliki ketinggian antara 30-115 m diatas permukaan laut. Morfologi daerah ini terbentuk oleh satuan batugamping yang bercampur dengan pelapukan dari batugamping. Sungai pada daerah penelitian mempunyai pola subsekuen dan konsekuen dengan stadium dewasa. Lereng terjal dan lembah tidak sering dijumpai pada daerah ini. Kemiringan lereng berkisar antara 0 – 40%.



Gambar 7 Sisa pelarutan yang membentuk lubang berongga pada yang mencirikan karst.

Stratigrafi pada daerah penelitian berupa satuan batugamping Formasi Paciran. Batugamping pada Formasi Paciran merupakan Batugamping Terumbu yang berumur pliosen. Secara fisik batuan ini dapat dibedakan menjadi satuan batugamping keras dan lunak. Batugamping Terumbu keras bersifat kompak, kristalin, berwarna putih sampai coklat kekuningan, mengandung fosil koral, foraminifera dan moluska. Pada umumnya batugamping ini berongga-rongga dan banyak didapat retakan-retakan yang terisi oleh kalsit. Batugamping ini merupakan 80% dari seluruh cadangan batugamping. Terdapat pula Batugamping Dolomitan yang umumnya berupa terumbu, tersebar paling luas bila dibandingkan dengan formasi yang lain. Organisme pembentuknya adalah ganggang, koral, litotamium dan foraminifera. Berwarna putih, kelabu, coklat hingga merah daging, tanah hasil pelapukannya berwarna merah, sangat kompak dan sebagian terhablurkan terutama pada bagian atas, secara setempat bersifat dolomitan dan gloukunitan, tidak dijumpai adanya perlapisan, pada permukaan batuan umumnya berongga dan tajam akibat adanya proses pelarutan oleh air. Setempat ditemukan Batugamping Kristalin yang merupakan kristal kalsit. Di lokasi batugamping yang sedikit lunak masyarakat menggali batugamping untuk bangunan secara manual. Sebagian melakukan penambangan dengan tambang bawah tanah.



Gambar 8 Puncak puncak berbentuk membulat pada daerah penelitian.

Struktur patahan turun diperkirakan mengarah utara selatan sepanjang sungai Pongpongan. Tidak terlihat jelas indikasi patahan dikarenakan proses pelarutan yang intensif. Struktur geologi minor ditemukan di beberapa lokasi sekitar penambangan serta di sekitar underpass. Daerah kajian secara regional termasuk dalam Peta Geologi Lembar Jatirogo-Tuban. Zona ini diisi oleh endapan paparan yang didominasi oleh batuan karbonat dan jarang sekali endapan piroklastik. Awal pengendapan sedimen diperkirakan berlangsung pada kala oligosen-miosen ketika wilayah ini masih berupa cekungan.

Struktur perlipatan dan sesar normal merupakan struktur geologi utama yang mengontrol daerah penelitian. Antiklin yang berarah barat-timur merupakan struktur perlipatan utama di daerah kajian. Sesar normal yang terdapat di daerah penelitian, kedudukannya hampir paralel dengan struktur perlipatan yang ada. Struktur sesar di daerah penelitian merupakan kontak antara lapisan batulempung dengan batugamping dari Formasi Paciran yang berumur Pleosen.



Gambar 9 Bekas gua karst pada Blok W6 daerah penelitian pada koordinat 111.933482 BT
– 6.879936 LS

2.2. Batugamping

Batugamping merupakan bahan galian golongan C, jenis mineral industri yang tersusun oleh kalsium karbonat (CaCO_3) dan mengandung unsur lain, diantaranya magnesium menurut Sukandarrumidi (1999). Sebagai bahan baku semen portland, maka batugamping harus mempunyai persyaratan tertentu, yaitu:

- a. Harus mempunyai kadar karbonat yang tinggi kurang lebih 85%.
- b. Tidak boleh mengandung unsur Zn dan Pb.
- c. Kandungan sulfat, sulfit, fosfat, dan alkali dalam jumlah sedikit.

Salah satu hal penting yang harus diketahui dalam menganalisis batugamping adalah adanya keterdapatannya unsur Ca dan Mg. Bila kadar Ca tinggi dan Mg rendah berarti memiliki kualitas yang baik, sebaliknya bila kadar Ca rendah dan kadar Mg tinggi maka kualitasnya buruk. Kadar Mg yang tinggi akan mengganggu proses pengerasan, karena unsur Mg tidak dapat terikat dengan unsur lain dalam semen. Batugamping mengandung CaO lebih dari 50% (persen berat) sangat baik digunakan sebagai bahan bangunan dalam bentuk semen. Batugamping pada umumnya bermula dari cangkang moluska, foraminifera, coelenterate dan sedimen karbonat.

2.2.1. Genesa Batugamping

Batugamping merupakan batuan sedimen yang tersusun oleh kalsium karbonat (CaCO_3) dalam bentuk mineral kalsit.

Secara umum batugamping terbentuk di laut dangkal, tenang, dan pada perairan yang hangat. Lingkungan ini merupakan lingkungan ideal dimana organisme mampu membentuk cangkang kalsium karbonat dan skeleton sebagai sumber bahan pembentuk batugamping. Ketika organisme tersebut mati, cangkang dan skeleton akan menumpuk membentuk sedimen yang selanjutnya akan terlithifikasi menjadi batugamping.

2.2.2. Komposisi Batugamping

Komposisi batugamping sebagian besar adalah mineral kalsit. Pada batugamping, setidaknya kalsit dapat ditemui dalam tiga bentuk berbeda, yaitu: (1) butiran karbonat, seperti *ooids* dan butiran-butiran skeletal yang berukuran lanau dengan jumlah yang lebih besar dari kristal kalsit; (2) kalsit mikrokristalin atau lumpur karbonat yang memiliki tekstur mirip dengan lumpur pada batuan sedimen siliklastik, tetapi dengan komposisi yang tersusun atas kristal kalsit; (3) *sparry calcite* yang terdiri atas banyaknya butiran kalsit yang berukuran besar dan memiliki sifat *translucent*. Berikut merupakan komposisi yang terdapat pada batugamping : (Surjono S., 2017)

a. Butiran – butiran karbonat

Komposisi batuan karbonat di beberapa bagian memiliki jumlah partikel atau butiran yang telah mengalami mekanisme transportasi sebelum terdeposisi. Butiran – butiran karbonat pada umumnya memiliki ukuran antara lanau (0,02 mm) hingga pasir (2 mm), tetapi tidak menutup kemungkinan bahwa batuan karbonat atau batugamping tersebut juga tersusun atas partikel yang lebih besar seperti fosil.

b. Litoklas

Litoklas merupakan fragmen batuan yang diperoleh dari erosi batugamping, baik erosi sebagian maupun keseluruhan, tanpa melalui proses pengendapan sebelumnya. Jika litoklas tersebut diperoleh dari batugamping lebih tua yang

mengalami pengendapan, material tersebut disebut sebagai ekstraklas, sedangkan jika litoklas tersebut diperoleh dari erosi gabungan sedimen karbonat yang berasal dari dasar laut, khususnya lingkungan di sekitar zona pasang surut atau pantai, sedimen tersebut disebut sebagai interklas.

Litoklas berukuran antara pasir hingga gravel, dengan ukuran pasir yang lebih dominan. Pada umumnya litoklas berbentuk sedikit membulat hingga *subangular-angular* yang menandakan bahwa butiran tersebut telah mengalami transportasi. Beberapa litoklas tersusun atas berbagai tekstur maupun struktur internal, seperti struktur laminasi sortasi. Beberapa litoklas tersusun atas berbagai tekstur maupun struktur internal, seperti struktur laminasi sortasi. Beberapa litoklas tersusun atas berbagai tekstur maupun struktur internal, seperti struktur laminasi, mengandung material siliklastik, fosil, *ooids*, maupun berbentuk bulat. Litoklas penyusun batugamping yang berukuran besar pada umumnya berasal dari konglomerat dengan bentuk yang tidak terlalu bulat.

c. Fragmen - Fragmen Skeletal

Salah satu fragmen skeletal yang dapat terbentuk dalam batugamping ialah mikrofosil. Jenis dan spesies dari partikel skeletal yang terbentuk akan ditentukan oleh umur dan kondisi lingkungan pengendapan. Berdasarkan kondisi lingkungan terdahulu, fragmen-fragmen skeletal yang terkandung pada batugamping terdiri atas satu atau beberapa spesies dan jenis organisme. Analisis dan identifikasi berbagai jenis batugamping sangat penting dalam memahami lingkungan dan faktor ekologis masa lalu.

d. *Ooids*

Istilah *ooids* biasa digunakan untuk butiran penyusun batuan karbonat yang terdiri atas beberapa jenis unsur, yaitu cangkang fragmen, butiran kuarsa, kalsit atau kristal aragonit yang berbentuk *subrounded* (pada beberapa *ooids*, unsur itu sendiri berukuran sangat kecil hingga yang mudah untuk dilihat). Adapun litologi yang mengandung dominasi *ooids* akan disebut *oolites*. *Oolith* umumnya berbentuk bulat atau hampir bulat, dan beberapa cenderung berbentuk konsentris.

Berdasarkan penelitian, diketahui bahwa jenis dari mineralogi yang menyusun *ooids* memiliki kaitan dengan batas air laut. Semakin tinggi elevasinya dari muka air laut atau semakin dekat dengan permukaan, *ooids* yang menyusun suatu formasi akan didominasi oleh kalsit karena kaya akan CO₂ dan Mg/Ca, sedangkan lingkungan dengan elevasi yang rendah mengandung CO₂ mengandung CO₂ dan Mg/Ca yang rendah (Wilkinson, Owen, dan Carroll, 1985).

Walaupun kebanyakan *ooids* memperlihatkan struktur internal dengan lapisan yang konsentris, beberapa *ooids* masih memperlihatkan luar yang melingkar. *Ooids* yang melingkar juga memperlihatkan lapisan yang konsentris, bentuk pengkristalan kembali *ooids*.

Ooids yang berukuran lebih dari 2 mm disebut *pisoids* (batuan yang terdiri atas *pisoids* disebut pisolit). *Pisoids* umumnya lebih kecil bila dibandingkan dengan *ooids*. Beberapa *pisoids* terbentuk dari aktivitas alga biru-hijau (*cynobacteria*) di beberapa lingkungan tempat terbentuknya stromatolit. Stromatolit yang berukuran 1-2 cm disebut dengan *oncooids*.

e. Peloid

Pada umumnya *peloid* berbentuk bulat, terbentuk dari organisme yang kaya akan CaCO₃ dan tidak tersusun atas butiran karbonat yang terdiri atas kalsit mikrokristalin atau kriptokristalin maupun aragonit. *Peloid* berukuran lebih kecil daripada *ooids*, pada umumnya berukuran lanau hingga pasir (0,03 – 0,1 mm), walaupun pada beberapa batuan terdapat *peloid* dengan ukuran yang lebih besar. *Pellet* (kumpulan *peloid*) dapat dibedakan dari *ooids* melalui bentuknya yang konsentris atau memiliki bentuk yang bulat dan seragam. Karena *peloid* terbentuk dari sisa – sisa organisme, bentuk dan ukurannya tidak akan sama dengan sedimen – sedimen biasa yang telah mengalami transportasi, walaupun *pellet* dapat mengalami transportasi setelah terbentuk.

Peloid juga bisa terbentuk dari proses lainnya, seperti mikritisasi dari *ooids* yang berukuran kecil atau fragmen – fragmen membulat yang terbentuk dari aktivitas organisme maupun dari partikel – partikel alga. Beberapa *peloid* yang terbentuk di lingkungan laut merupakan produk dari aktivitas pengendapan bakteri menurut Chafetz (1986). Selain itu, pada beberapa jenis batuan juga ditemui *peloid*

yang berukuran sangat kecil dan bulat yang terbentuk dari kumpulan partikel yang berukuran lempung.

f. Kumpulan Butiran Karbonat

Kumpulan butiran karbonat terdiri atas dua atau lebih fragmen karbonat (*pellet, ooids*, fragmen – fragmen fosil) yang tergabung bersama dalam matiks berupa lumpur karbonat dan pada umumnya berwarna gelap serta kaya akan material organik. Kumpulan butiran karbonat yang menghasilkan litologi dengan bentuk menyerupai anggur yang bercabang lazim disebut batu anggur menurut Illing (1954). Kumpulan butiran karbonat dengan ukuran yang lebih kecil akan membentuk gumpalan. Menurut Tucker dan Wright (1990), perkembangan gumpalan tersebut terjadi secara bertahap mulai dari terbentuknya batu anggur yang dilanjutkan dengan sementasi dan mikritasi dari butiran karbonat. Butiran – butiran karbonat yang terbentuk pada lingkungan pengendapan karbonat saat ini (*recent*) didominasi oleh mineral aragonit. Namun, kebanyakan batugamping didominasi oleh mineral kalsit. Kumpulan butiran karbonat *recent* pada umumnya berbentuk botroidal dan tidak memiliki struktur luar. Kumpulan butiran karbonat ini jarang ditemui atau diidentifikasi dalam batugamping. Hal ini disebabkan oleh bentuknya yang sulit dibedakan.

g. Kalsit Mikrokrystalin (Mikrit)

Lumpur karbonat terdiri atas kristal kalsit yang terdapat pada batugamping dengan ukuran pasir. Lumpur karbonat didominasi oleh kristal aragonit berukuran sekitar 1 hingga 5 mikron (0,001 – 0,005 mm). Lumpur karbonat juga mengandung mineral – mineral lainnya, seperti mineral lempung, kuarsa, felspar, dan lain – lain, serta berwarna abu – abu hingga kecokelatan dan memiliki ketembusan cahaya substranslusen ketika diamati dengan mikroskop.

Mikrit dapat muncul pada butiran karbonat sebagai matriks dan hadir secara dominan pada batugamping. Batugamping yang didominasi oleh mikrit memperlihatkan tekstur menyerupai batuan siliklastik. Persentase mikrit yang besar pada batugamping mengindikasikan lingkungan pengendapan berada pada laut yang tenang. Sebaliknya, pengendapan sedimen karbonat pada lingkungan yang berenergi tinggi akan menghasilkan litologi tanpa kandungan lumpur karbonat.

Berdasarkan kandungan kimianya, lumpur karbonat atau mikrit secara teori terbentuk dari pengendapan material organik dengan komposisi aragonik yang kemudian bertransformasi menjadi kalsit dan bercampur dengan air yang mengandung kalsium bikarbonat.

h. *Sparry Calcite*

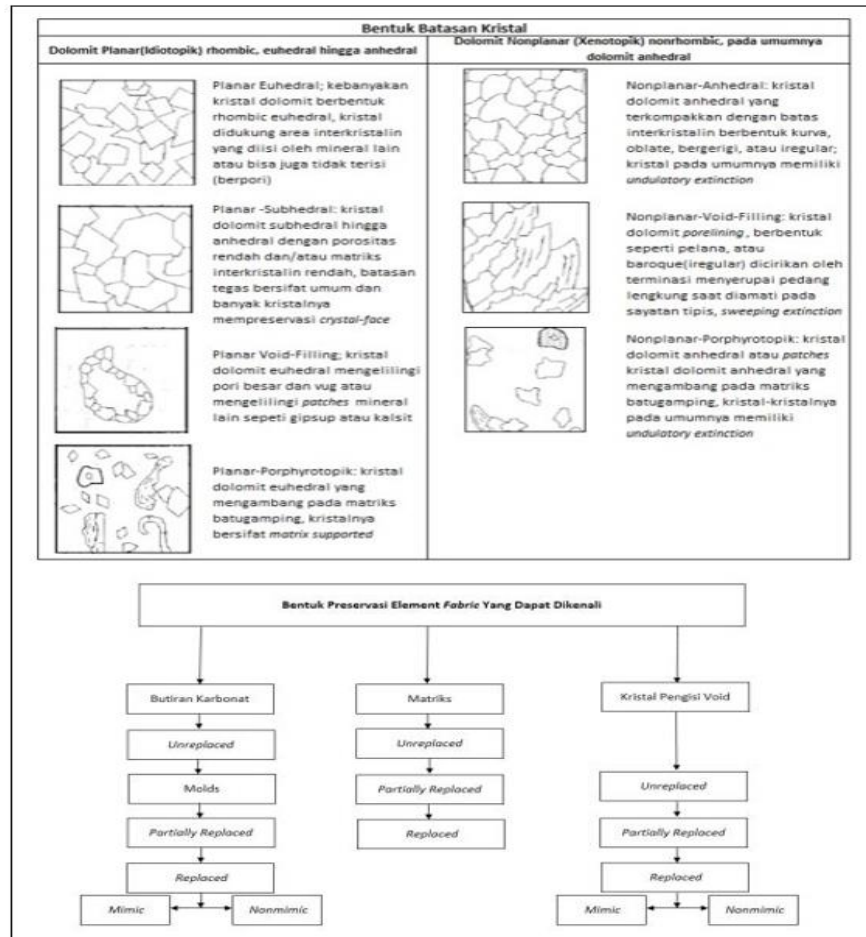
Mayoritas batugamping terdiri atas kristal kalsit yang berukuran 0,02 mm hingga 0,1 mm, berwarna bening atau putih, dan dapat diamati melalui contoh setangan maupun dengan mikroskop. Material penyusun batugamping dengan ciri tersebut biasa disebut sebagai *sparry calcite*. *Sparry calcite* pada umumnya akan ditemui sebagai semen pada pori-pori antarbutir yang dimiliki batugamping. Hal ini menandakan bahwa rongga yang kosong pada saat pengendapan batugamping akan terisi oleh lumpur yang terdeposisi. *Sparry calcite* juga bisa terbentuk melalui rekristalisasi batugamping yang terendapkan dan rekristalisasi mikrit selama diagenesis.

2.2.3. Tekstur Dolomit pada Batuan Karbonat

Tekstur dolomit yang terbentuk pada batuan karbonat terutama disusun oleh mineral dolomit [$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$]. Tidak seperti batugamping yang dicirikan dengan kehadiran butiran karbonat, mikrit, dan semen, dolomit memiliki tekstur kristalin dengan butiran penyusun yang berukuran besar (*granular*). Berdasarkan bentuk kristalnya, terdapat dua jenis dolomit. Dolomit planar (*idiotopic*) terdiri atas kristal berstruktur *rhombic* dan berbentuk *euhedral* hingga *anhedral* (berbentuk buruk).

Menurut Sibley dan Greg (1987), dolomit nonplanar (*xenotopic*) tersusun atas kristal nonplanar dengan bentuk *anhedral*. Tiap jenis dolomit dapat dibagi lagi menjadi beberapa tipe. Pada umumnya, dolomit terbentuk dari penggantian (*replacement*) material – material karbonat penyusun batugamping yang telah terbentuk sebelumnya. Tekstur dari batugamping yang mengalami proses penggantian tersebut dapat kembali ditemui pada dolomit yang terbentuk kemudian dengan berbagai tingkat, mulai dari terganti seluruhnya hingga tidak terganti sama sekali. Dolomit yang mempertahankan tekstur asli dari batugamping biasa disebut

sebagai “ghost” (*mimicking replacement*), sedangkan apabila tekstur aslinya berubah total, proses penggantian tersebut dinamakan *non-mimicking replacement*.



Gambar 10 Klasifikasi tekstur dolomit (Sumber : Gregg dan Sibley, 1984)

2.2.4. Klasifikasi Batugamping

Pengklasifikasian batuan karbonat dimulai pada tahun 1904 oleh Grabeau melalui klasifikasi dari batuan sedimen. Pengklasifikasian batuan karbonat tersebut kemudian dilanjutkan oleh peneliti lainnya di tahun 1930, 1940, dan 1950-an.

Pada tahun 1962, Dunham mengusulkan metode klasifikasi berbeda yang menitikberatkan pada kelimpahan relatif dari butir karbonat terhadap mikrit, tetapi tidak mempertimbangkan perbedaan jenis-jenis butiran karbonat. Penjelasan klasifikasi Dunham hanya berdasarkan pada tekstur deposisional dan dua aspek tekstur, yaitu :

- a. Kemas dan kelimpahan relatif butiran sampai mikrit, dan
- b. Sortasi yang dibentuk saat pengendapan.

Selain itu, yang perlu diperhatikan adalah apakah butiran karbonat pada suatu batugamping menunjukkan bukti apakah butiran tersebut pernah terikat satu sama lain pada saat deposisi sebagai sebuah koloni yang kompleks, sebuah lapisan stromatolit (*cyanobacteria*), maupun sebagai alga gampingan atau tidak.

Dunham memisahkan komponen yang tidak terikat bersama pada saat deposisi menjadi litologi dengan sedikit lumpur gampingan dan litologi dengan banyak lumpur gampingan (bertekstur *grain-supported* ataupun *mud-supported*). Tekstur tersebut tidak tergantung pada rasio butir terhadap lumpur secara absolut karena *grain-supported* juga turut ditentukan oleh bentuk butiran karbonat. Butiran karbonat berbentuk lonjong, seperti cangkang *Bivalvia*, akan cenderung membentuk kemas yang lebih *mud-supported* jika dibandingkan dengan partikel *spherical*, seperti *ooids*. Secara lebih lanjut, Dunham juga merumuskan bahwa hubungan antara tekstur *grain-supported* dengan *mud-supported* pada batugamping tidak tergantung pada rasio mikrit yang terkandung di dalamnya.

Depositional texture recognizable				Depositional texture not recognizable	
Original components not bound together during deposition			Original components were bound together		
Contains mud (clay and fine silt-size carbonate)		Lacks mud and is grain supported			
Mud-supported		Grain-supported			
Less than 10% grains	More than 10% grains				
Mudstone	Wackestone	Packstone	Grainstone	Boundstone	Crystalline

Gambar 11 Klasifikasi batugamping menurut Dunham (1962)

Pada batugamping tak jarang ditemukan unsur magnesium setelah dilakukan analisa kimia dengan XRF. Unsur magnesium merupakan unsur pengotor yang mengendap saat proses pengendapan. Keberadaan pengotor

memberikan klasifikasi jenis batugamping. Keberadaan unsur pengotor juga berpengaruh terhadap warna batugamping mulai dari warna putih susu, abu-abu muda, abu-abu tua, coklat bahkan hitam.

Apabila pada batugamping memiliki kandungan magnesium (Mg) sebagai unsur pengotor maka batugamping tersebut dapat digolongkan kedalam batuan dolomit seperti pada **Tabel 1**.

Tabel 1 Komposisi batugamping berdasarkan kadar dolomit Pettijohn (1949) dalam buku Sukandarrumidi (2004)

Nama Batuan	Kadar Dolomit (%)	Kadar MgO (%)
Batugamping	0 - 5	0,1 – 1,1
Batugamping Berfragmen	5 - 10	1,1 – 2,2
Batugamping Dolomitan	10 - 50	2,2 – 10,9
Dolomit Berkalsium	50 - 90	10,9 – 19,7
Dolomit	0 - 100	19,7 - 21,8

Todd (1966) mengelompokkan batugamping berdasarkan rasio Ca/Mg nya menjadi 3 kelompok seperti yang tertera pada **Tabel 2**.

Tabel 2 Klasifikasi batugamping berdasar rasio Ca/Mg (Todd, 1966)

Nama Batuan	Kadar Ca/Mg	Kadar Mg/Ca
Dolomit magnesian	1,00 – 1,22	0,82 – 1,00
Dolomit	1,22 – 1,50	0,67 – 0,82
<i>Calcareous Dolomite</i>	1,50 – 1,86	0,54 – 0,67
<i>Dolomitized limestone</i>	1,86 – 5,67	0,18 – 0,54
Batugamping Dolomitan	5,67 – 12,30	0,08 – 0,18
Batugamping Magnesian	12,30 – 39,00	0,03 – 0,08
Batugamping Murni	>39,00	0 – 0,03

2.3. Pelapukan pada Batugamping

Pelapukan merupakan salah satu bagian dari proses eksogenik. Pelapukan terjadi pada semua bagian yang telah tersingkap di permukaan. Di Indonesia pelapukan pada batuan berlangsung lebih intensif disebabkan posisi Indonesia yang berada di lintang rendah menyebabkan faktor-faktor penyebab pelapukan bekerja lebih dominan. Dengan adanya pelapukan batuan, maka akan terjadi perbedaan kenampakan fisik dari batuan tersebut yang dapat diamati secara megaskopis maupun mikroskopis. Terjadinya pelapukan juga dapat membuat batuan berubah ukuran butir dan komposisinya. Pelapukan batuan juga membuat terbentuknya tanah residu. (Lucas, 2014).

Komposisi dari batuan yang ada di bumi ini berbeda-beda sehingga tingkat pelapukan dan jenis pelapukannya pun berbeda-beda. Pelapukan terjadi karena faktor-faktor yang berpengaruh terhadap pelapukan bekerja dengan baik. Faktor-faktor penyebab pelapukan adalah bahan induk, topografi, iklim dan organisme, dan waktu (Wijono, 2013). Manifestasi dari adanya pelapukan adalah terbentuknya tanah. Tanah adalah sebuah lapisan yang menutupi kenampakan batuan/ bahan tambang di lapangan, namun tanah (paleosoil) dapat menjadi kunci (keybed) yang karena lokasi tanah yang berada di bawah permukaan dan memiliki umur tertentu yang dapat digunakan untuk korelasi stratigrafi (Sheldon, 2003 dalam Wijono). Salah satu jenis tanah berdasarkan klasifikasi berdasarkan genetisnya adalah calcrete. Calcrete adalah salah satu jenis tanah yang terbentuk oleh pengendapan material karbonat, terutama terdiri dari Ca dan Mg karbonat. Calcrete terbentuk karena proses nonpedogenetic yang dihasilkan oleh proses fluvial atau air tanah, kedua faktor tersebut mungkin bersifat pedogenetic melalui perpindahan secara vertikal ataupun horizontal. Macam-macam calcrete dibuat berdasarkan tingkat dan jenis sementasi (misalnya bubuk, nodular, dll) (Fookes, 1997). Calcrete mengandung 60-97% CaCO_3 dengan nilai pada umumnya yaitu 80% (Groudie 1973 dalam Fookes 1997).

2.4. Semen Portland

Salah satu komponen material yang sangat diperlukan dalam proyek pengembangan infrastruktur adalah semen Portland. Semen Portland adalah bahan perekat material atau agregat pada proses pembuatan beton (Ahmad, 2014).

Batugamping dalam hal ini merupakan bahan baku utama dalam pembuatan semen Portland. Dalam eksplorasi batugamping sebagai bahan baku semen Portland, dibutuhkan analisis mengenai persebaran batugamping yang memiliki kualitas tinggi. Tinggi rendahnya kualitas batugamping sebagai bahan baku semen Portland ini sebagian besar dipengaruhi oleh kadar CaOnya. (Winarno T., dkk, 2020).

Semen portland adalah kombinasi kimia antara kalsium (Ca), silika (Si), alumunium (Al), besi (Fe) yang dikendalikan secara ketat dan sejumlah kecil bahan lain seperti gipsum yang ditambahkan dalam proses penggilingan akhir untuk mengatur waktu pengikatan beton. Gamping dan silika mengisi sekitar 85% dari massa. Bahan yang umum digunakan dalam pembuatan semen adalah batugamping, kerang, dan marl yang dikombinasikan dengan serpih, tanah liat, *slag*, pasir silika dan bijih besi. (Irawan R.R., 2013).

2.4.1. Sifat Fisika dan Kimia Semen Portland

Komposisi bahan pembuatan semen pada PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. terdiri dari raw material tertera pada **Tabel 3**.

Tabel 3 Komposisi raw material PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk.

No	Raw Material	Kisaran (%)
1	Iron Sand	± 1.5
2	Silica	± 3
3	Clay	± 13.5
4	Limestone	± 82

Raw material yang ada kemudian diproses menjadi klinker. Ada tiga jenis pemrosesan klinker :

- a. Apabila klinker dicampur dan dihaluskan dengan gypsum maka akan menghasilkan Semen OPC.
- b. Apabila klinker dicampur dan dihaluskan dengan gypsum serta *pozzolanic material* maka akan menghasilkan Semen PPC.
- c. Apabila klinker dicampur dan dihaluskan dengan gypsum serta mineral anorganik maka akan menghasilkan Semen PCC.

2.4.2. Klasifikasi Komposisi Batugamping sebagai Bahan Baku Semen menurut Duda (1975)

Menurut Duda (1975) batugamping untuk bahan baku semen yang sangat berpengaruh dalam kualitas semen adalah komponen kimia, tertera pada **Tabel 4**.

Tabel 4 Komposisi senyawa batugamping menurut Duda (1975)

Komponen	Komposisi Ideal (%)	Kisaran (%)
SiO ₂	0,95	0,76 – 4,75
Al ₂ O ₂	0,92	0,71 – 2,00
Fe ₂ O ₃	0,38	0,36 – 1,47
MgO	0,95	<2
CaO	54,6	49,8 – 55,6

2.4.3. ASTM Standart Internasional Semen Portland

ASTM merupakan singkatan dari *American Society for Testing and Materials* yang merupakan standarisasi teknik untuk sistem material termasuk geosintetik. Dalam pembuatan semen portland, ada beberapa standart yang digunakan yaitu sebagai berikut :

- a. ASTM C 51 - 1999

Pada standart internasional ini dibahas mengenai terminologi standar yang berkaitan dengan gamping dan batugamping. Berdasarkan standar internasional ASTM C 51 – 1999, batugamping merupakan batuan sedimen yang terdiri terutama dari kalsium karbonat dan magnesium. Dalam hal ini batugamping dibagi menjadi tiga yaitu :

- 1) *Dolomitic limestone*, merupakan batugamping yang mengandung 35% hingga 45% magnesium karbonat ($MgCO_3$).
- 2) *Magnesium limestone*, merupakan batugamping yang mengandung 5% hingga 35% magnesium karbonat ($MgCO_3$).
- 3) *High-calcium limestone*, merupakan batugamping yang mengandung 0% hingga 5% magnesium karbonat ($MgCO_3$).

b. ASTM C 150 - 07

ASTM C 150 merupakan spesifikasi standar internasional untuk semen portland yang mencakup persyaratan kimia dalam pembuatan semen portland seperti yang tertera pada **Tabel 5** berikut.

Tabel 5 Persyaratan kimia semen portland (ASTM C 150 – 07)

No	Uraian	Jenis Semen Portland				
		I	II	III	IV	V
1	Al_2O_3 Maksimum	-	6	-	-	-
2	Fe_2O_3 Maksimum	-	6	-	6,5	-
3	MgO Maksimum	6	6	6	6	6
4	SO_3 , Maksimum					
	Jika $C_3A < 8,0$	3	3	3,5	2,3	2,3
	Jika $C_3A > 8,0$	3,5	-	4,5		
5	Hilang Pijar Maksimum	3	3	3	2,5	3
6	Bagian Tak Larut, Maksimum	3	1,5	1,5	1,5	1,5
7	C_3S , Maksimum	-	-	-	35	-
8	C_2S , Minimum	-	-	-	40	-
9	C_3A , Maksimum	-	8	15	7	5
10	$C_4AF + 2 C_3A$ atau $C_4AF + C_2F$, Maksimum	-	-	-	-	25

2.4.4. Sasaran Mutu *Quality Raw Material* PT. Semen Indonesia

Untuk menghasilkan produk semen yang memiliki kualitas sesuai dengan standar mutu yang ada, perusahaan PT. Semen Indonesia merupakan standar kadar senyawa kimia, dari setiap komponen bahan baku, seperti pada **Tabel 6**.

Tabel 6 Sasaran mutu *quality control raw material* PT. Semen Indonesia

Batuan	Kandungan	Kualitas	Kadar
Batugamping	CaO	High Grade	$\geq 54\%$
		Medium Grade	$52 < \text{CaO} < 54$
		Low Grade	$\leq 52\%$
Dolomit	MgO	Dolomit	$\text{MgO} < 3\%$

2.4.5. Klasifikasi Komposisi Batugamping sebagai Bahan Baku Semen Berdasarkan SNI 2049 : 2015

Persyaratan kimia bahan baku semen yang digunakan oleh PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. mengacu pada standar syarat mutu terbaru SNI pada tahun 2015. Berdasarkan hal tersebut maka persyaratan kimia semen *portland* yang harus dipenuhi tertera pada **Tabel 7** sebagai berikut.

Tabel 7 Standar Nasional Indonesia persyaratan kimia semen *portland* (SNI Semen *Portland*, 2015)

No	Uraian	Jenis Semen Portland				
		I	II	III	IV	V
1	SiO ₂ , Minimum	-	20	-	-	-
2	Al ₂ O ₃ , Maksimum	-	6	-	-	-
3	Fe ₂ O ₃ , Maksimum	-	6	-	6,5	-
4	MgO, Maksimum	6	6	6	6	6
5	SO ₃ , Maksimum					
	Jika C ₃ A < 8,0	3	3	3,5	2,3	2,3
	Jika C ₃ A > 8,0	3,5	-	4,5		
6	Hilang Pijar Maksimum	5	3	3	2,5	3
7	Bagian Tak Larut, Maksimum	3	1,5	1,5	1,5	1,5
8	C ₃ S, Maksimum	-	-	-	35	-
9	C ₂ S, Minimum	-	-	-	40	-
10	C ₃ A, Maksimum	-	8	15	7	5
11	C ₄ AF + 2 C ₃ A atau	-	-	-	-	25
	C ₄ AF + C ₂ F, Maksimum					

2.5. Jenis - Jenis dan Tipe Semen Portland

Semen Portland Pozzolan (PPC) dan Semen Portland Komposit (PCC) adalah varian semen hidrolik yang tersusun atas campuran semen Portland biasa (OPC) dengan bahan lain yang berpartisipasi dalam reaksi hidrasi sehingga memberi kontribusi substansial terhadap hasil hidrasi semen (Taylor, 1997).

Jenis – Jenis dan Tipe Semen Portland yang diproduksi oleh PT. Semen Indonesia adalah sebagai berikut :

a. Portland Cement Tipe I (*Ordinary Portland Cement*)

Semen Portland Tipe I yaitu semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti disyaratkan pada jenis-jenis lain. Standar dan metode uji kimia dalam menghasilkan Portland Cement Tipe I mengacu pada SNI 2049:2015, dan ASTM C150/C150M.

Semen yang tercakup dalam spesifikasi ASTM C150/C150M hanya boleh mengandung bahan-bahan berikut: klinker semen portland; air atau kalsium sulfat, atau keduanya; batu gamping; tambahan pemrosesan; dan penambahan air-entraining untuk air-entraining semen portland. Sesuai Standarisasi ASTM C150/C150M Semen Portland harus memiliki komposisi kimia berupa, aluminium oksida, oksida besi, magnesium oksida, sulfur trioksida, trikalsium silikat, dikalsium silikat, trikalsium aluminat, dan tetrakalsium aluminofenit.

Semen Portland Tipe I digunakan untuk konstruksi umum yang membutuhkan kuat tekan tinggi, tanpa persyaratan khusus seperti ketahanan sulfat dan panas hidrasi. Semen Portland I dapat diaplikasikan dalam pembangunan gedung, jembatan, jalan raya, pemukiman, beton *precast* dan *prestress*, serta pabrik berbasis semen.

b. Portland Cement Tipe II (*Moderate Heat Portland Cement*)

Semen Portland Tipe II yaitu semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti disyaratkan pada jenis-jenis lain. Standar dan metode uji kimia dalam menghasilkan Portland Cement Tipe II mengacu pada SNI 2049:2015, dan ASTM C150/C150M.

Semen Portland Tipe II digunakan untuk konstruksi dengan persyaratan tahan sulfat sedang dengan kandungan sulfat :

- i. Terlarut dalam tanah $0,1 \leq SO_4 < 0,2$ (%)
- ii. Terlarut dalam air $150 \leq SO_4 < 1500$ (ppm), dan
- iii. Panas hidrasi sedang

Semen Portland Tipe II dapat diaplikasikan dalam pembangunan bendungan, dermaga, bangunan tanah rawa, dan soil semen.

c. Semen Portland Tipe III (*High Early Strength Portland Cement*)

Semen Portland Tipe III yaitu semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti disyaratkan pada jenis-jenis lain. Standar dan metode uji kimia dalam menghasilkan Portland Cement Tipe III mengacu pada SNI 2049:2015, dan ASTM C150/C150M. Semen Portland Tipe III digunakan untuk konstruksi yang memerlukan kuat tekan awal tinggi. Semen Portland Tipe III dapat diaplikasikan dalam pembangunan jalan beton, landasan pacu pesawat, bangunan tingkat tinggi, dan beton prategang.

d. Semen Portland Tipe IV (*Low Heat Portland Cement*)

Semen Portland Tipe IV yaitu semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti disyaratkan pada jenis-jenis lain. Standar dan metode uji kimia dalam menghasilkan Portland Cement Tipe IV mengacu pada SNI 2049:2015, dan ASTM C150/C150M. Semen Portland Tipe IV digunakan untuk konstruksi yang memerlukan panas hidrasi rendah. Semen Portland Tipe IV dapat diaplikasikan dalam pembuatan bangunan beton dengan volume dan dimensi yang besar seperti bendungan, dan pondasi *high rise bulding*.

e. Semen Portland Tipe V (*High Sulphate Resistance Portland Cement*)

Semen Portland Tipe V yaitu semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti disyaratkan pada jenis-jenis lain. Standar dan metode uji kimia dalam menghasilkan Portland Cement Tipe V mengacu pada SNI 2049:2015, dan ASTM C150/C150M.

Semen Portland Tipe V digunakan untuk konstruksi bangunan yang memerlukan ketahanan terhadap sulfat yang tinggi dengan kandungan sulfat :

- i. Terlarut dalam tanah $0,2 \leq SO_4 < 2,0$ (%)
- ii. Terlarut dalam air $1.500 \leq SO_4 < 10.000$ (ppm)

Semen Portland Tipe V dapat diaplikasikan dalam pembangunan pelabuhan, terowongan, jembatan di atas laut, dan instalasi limbah.