

SKRIPSI

**IDENTIFIKASI MATERIAL ANTROPOGENIK
SEDIMEN PERMUKAAN DANAU SIDENRENG
KABUPATEN SIDENRENG RAPPANG
PROVINSI SULAWESI SELATAN**

Disusun dan diajukan oleh

**MUHAMMAD YUNUS
D061181014**



**DEPARTEMEN TEKNIK GEOLOGI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**IDENTIFIKASI MATERIAL ANTROPOGENIK
SEDIMEN PERMUKAAN DANAU SIDENRENG
KABUPATEN SIDENRENG RAPPANG
PROVINSI SULAWESI SELATAN**

Disusun dan diajukan oleh

**MUHAMMAD YUNUS
D061181014**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Sarjana yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 13 Februari 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

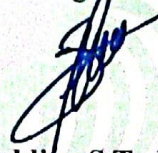
Gowa, Februari 2023

Disetujui Oleh:
Pembimbing Utama,



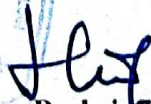
Prof. Dr. rer. nat. Ir. A. M. Imran
NIP. 19591008 198703 1 000

Pembimbing Pendamping,



Safruddin, S.T., M.Eng.
NIP. 19890207 2020005 3 001

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 : Muhammad Yunus
NIM : D061181014
Program Studi : Teknik Geologi
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

*Identifikasi Material Antropogenik Sedimen Permukaan Danau Sidenreng
Kabupaten Sidenreng Rappang Provinsi Sulawesi Selatan*

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, 16 Februari 2023
Yang menyatakan


d Yunus

SARI

Sedimentasi adalah proses dimana batuan mengalami penghancuran, kemudian tertransportasikan, dan mengalami pengendapan yang diakibatkan oleh angin, air, gletser, dan gravitasi. Material-material sedimen terendapkan biasanya terdapat material yang berasal dari aktivitas manusia yang disebut sebagai material antropogenik. Material-material antropogenik ini dapat diidentifikasi berdasarkan pengamatan mikroskopis dan analisis geokimia XRF. Maksud penelitian ini yaitu untuk mengetahui persentase distribusi ukuran butir sedimen permukaan Danau Sidenreng dan jenis-jenis material antropogenik sedimen permukaan Danau Sidenreng. Secara administratif, lokasi penelitian terletak di Kelurahan Teteaji, Kecamatan Tellu Limpo, Kabupaten Sidenreng Rappang, Provinsi Sulawesi Selatan. Secara geografis, daerah penelitian terletak pada 3°59'2,254"-3°59'24,697" Lintang Selatan dan 119°50'3,330"-119°50'43,676" Bujur Timur. Metode penelitian mencakup pengumpulan data lapangan, pengolahan dan analisis data berdasarkan ukuran butir, pengamatan mikroskopis, dan analisis geokimia XRF. Persentase distribusi ukuran butir sedimen permukaan Danau Sidenreng terdiri dari tiga jenis ukuran butir, yaitu pasir sebanyak 48 %, lanau sebanyak 17 %, dan lempung sebanyak 35 % dengan mengacu pada Klasifikasi Wentworth (1922). Jenis-jenis material antropogenik yang dijumpai pada daerah penelitian yang terdapat pada sedimen permukaan Danau Sidenreng yaitu limbah kuarsa dengan jenis artefak *siliceous*, pemberat jaring nelayan dengan jenis artefak *ferruginous*, dan plester bangunan dengan jenis artefak *miscellaneous*.

Kata Kunci: Danau Sidenreng, Geokimia, Material Antropogenik, Mikroskopis, Sedimentasi, Ukuran Butir

ABSTRACT

Sedimentation is the process by which rocks are weathered, transported, and deposited caused by wind, water, glaciers, and gravity. Precipitated sedimentary materials usually contain material derived from human activities which is referred to as anthropogenic material. These anthropogenic materials can be identified based on microscopic observations and XRF geochemical analysis. The purpose of this research is to determine the percentage of grain size distribution of Sidenreng Lake surface sediments and types of anthropogenic material on the surface sediments of Lake Sidenreng. Administratively, the research site is located in Teteaji Village, Tellu Limpoe District, Sidenreng Rappang Regency, South Sulawesi Province. Geographically, the research area is located at 3°59'2,254"-3°59'24,697" South Latitude and 119°50'3,330"-119°50'43,676" East Longitude. The research method includes field data collection, preparation and data analyzing which are grain size, microscopic observation, and XRF geochemistry analysis. The percentage of grain size distribution of surface sediments of Lake Sidenreng consists of three types of grain sizes, there are sand as much as 48%, silt as much as 17%, and clay as much as 35% based on Wentworth Classification (1922). The types of anthropogenic material found in the research area contained in the surface sediments of Lake Sidenreng are quartz waste as siliceous artifacts, fishermen's net ballast as ferruginous artifacts, and building plaster as miscellaneous artifacts.

Keywords: *Anthropogenic Materials, Geochemistry, Grain Size, Microscopic, Sedimentation, Sidenreng Lake*

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur kami ucapkan atas kehadiran Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas berkah dan rahmat-Nya sehingga kami dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **Identifikasi Material Antropogenik Sedimen Permukaan Danau Sidenreng, Kabupaten Sidenreng Rappang, Provinsi Sulawesi Selatan.**

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 Prof. dr. rer. nat. Ir. A. M. Imran sebagai dosen pembimbing utama kami yang telah sabar dalam memberikan arahan dan masukan baik dalam proses pengambilan dan pengolahan data, serta penulisan laporan. Semoga Allah lancarkan dan mudahkan urusan – urusan Bapak yang akan datang.
2. Bapak Safruddim, S.T., M.Eng. sebagai dosen pembimbing pendamping kami yang telah sabar dalam memberikan arahan dan masukan baik dalam proses pengambilan dan pengolahan data, serta penulisan laporan. Kami juga berterimakasih atas hal-hal di luar sangkut paut bimbingan pemetaan geologi ini. Banyak sekali hal – hal yang saya dapatkan dari Bapak. Semoga Allah lancarkan dan mudahkan urusan – urusan Bapak yang akan datang.
3. Bapak Dr. Eng. Hendra Pachri, S.T., M.Eng. sebagai Ketua Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Semoga Allah lancarkan dan mudahkan urusan – urusan Bapak yang akan datang.

4. Ibu Dr. Eng. Meutia Farida, S.T., M.T., selaku penguji kami yang telah bersedia meluangkan waktunya memberikan ilmunya demi kesempurnaan laporan ini. Semoga Allah memudahkan dan melancarkan urusan-urusan Ibu yang akan datang.
5. Bapak Prof. Dr. Eng. Asri Jaya HS, S.T., M.T., selaku penguji kami yang telah bersedia meluangkan waktunya memberikan ilmunya demi kesempurnaan laporan ini. Semoga Allah memudahkan dan melancarkan urusan-urusan Bapak yang akan datang.
6. Bapak Ibu Dosen Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan ilmunya selama saya menempuh pendidikan perkuliahan. Semoga Allah lancarkan dan mudahkan urusan – urusan Bapak dan Ibu yang akan datang.
7. Kepada para tenaga pendidik dan staf Teknik Geologi yang selalu membantu kami di Departemen Teknik Geologi
8. Kepada Kedua Orangtua kami, Ambo Tuo dan Muliati yang senantiasa mengiringi do'a kepada penulis demi dapat menjadi orang yang membanggakan bagi keluarga.
9. Kepada Adik kami, Musdalifa yang senantiasa mengiringi do'a kepada penulis agar dilancarkan dan dimudahkan urusan-urusannya.
10. Saudara Damar, Ikhsan, Rani, Rahmat, Gamara, dan Kak Adly serta Kak Ihsan, dalam hal ini telah membantu dalam pengambilan dan pengolahan data serta menjadi ruang diskusi bagi penulis dalam penyusunan skripsi ini.

11. Teman-teman *Xenolith* (Teknik Geologi Angkatan 2018) yang selalu menjadi penyemangat penulis dalam pengerjaan laporan.
12. Baso Shafwan Saso yang telah menemani kami ke lokasi penelitian dan telah menjadi supir kami.
13. Ibu Meinarni Thamrin, S.T., M.T., dosen kami di Teknik Geologi serta telah memberikan dukungan materil dan moril pada saat pengambilan data di lapangan. Semoga Ibu dilancarkan urusannya oleh Allah.
14. Kakak-kakak dan adik-adik di Himpunan Mahasiswa Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dan *American Association of Petroleum Geologists* Universitas Hasanuddin *Student Chapter* yang selalu menjadi teman diskusi penulis dalam bidang apapun.
15. Pengurus 6th *EPI International Conference on Science and Engineering* (EICSE) 2022 yang telah memberikan ruang penulisan bagi penelitian kami.
16. Dewi Fatimah Ihsary, S.KM., yang menjadi teman diskusi terkait apapun.
17. Semua rekan yang telah membantu penulis sampai detik ini dan belum sempat disebutkan. Terima kasih untuk uluran tangan dan kerendahan hati yang kalian miliki. *BarokAllahu Fiikum*

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan karena hanya Allah Subhanahu Wa Ta'ala yang Maha Sempurna sesuai dengan sifat-sifat-Nya, oleh karenanya saran dan masukan sangat diharapkan oleh penulis demi perbaikan skripsi ini. Akhir kata, semoga laporan pemetaan geologi ini dapat memberikan manfaat baik dalam penambahan wawasan dan dapat dijadikan

referensi pembaca dalam kegiatan penelitian selanjutnya serta tentunya berkah dan bernilai ibadah di sisi Allah Subhanahu Wa Ta'ala.

Wassalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh

Gowa, Januari 2023

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI	ii
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
SARI	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Letak, Luas, dan Kesampaian Daerah.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Geologi Regional Daerah Penelitian.....	5
2.2. Sedimen dan Sedimentasi	9
2.2.1 Ukuran Butir	10
2.2.2 Sedimen Kuartar	12
2.3 Material Antropogenik.....	13
2.3.1 Artefak	15
2.3.1.1 Artefak <i>Carbonaceous</i>	19
2.3.1.2 Artefak <i>Calcareous</i>	20
2.3.1.3 Artefak <i>Siliceous</i>	21
2.3.1.4 Artefak <i>Ferruginous</i>	24
2.3.1.5 Artefak <i>Miscellaneous</i>	26
2.3.2 Mikroartefak	27

2.4 Analisis Geokimia XRF	32
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	35
3.1 Variabel Penelitian	35
3.2. Metode Penelitian	35
3.2.1 Persiapan	35
3.2.2 Pengumpulan Data	36
3.2.3 Pengolahan dan Analisis Data.....	38
3.2.4 Penyusunan Skripsi	40
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	43
4.1 Hasil	43
4.1.1 Deskripsi Stasiun	43
4.1.1.1 Deskripsi SDS01	44
4.1.1.2 Deskripsi SDS02	45
4.1.1.3 Deskripsi SDS03	46
4.1.1.4 Deskripsi SDS04.....	47
4.1.1.5 Deskripsi SDS05	48
4.1.1.6 Deskripsi SDS06.....	50
4.1.2 Pengamatan Mikroskopis.....	51
4.1.3 Analisis Geokimia.....	52
4.2 Pembahasan.....	54
4.2.1 Jenis Sedimen.....	54
4.2.2 Identifikasi Material Antropogenik.....	57
BAB V PENUTUP.....	61
5.1 Kesimpulan	61
5.2 Saran	61

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN:

1. Tabel Distribusi Ukuran Butir
2. Pengamatan Mikroskopis
3. Hasil Analisis Geokimia XRF

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1.1 Peta tunjuk lokasi daerah penelitian	4
Gambar 2.1 Peta geologi regional daerah penelitian yang dimodifikasi dari Sukamto (1982) dan Djuri, dkk (1998)	6
Gambar 2.2 Peta citra satelit daerah penelitian	7
Gambar 2.3 Klasifikasi ukuran butir Skala Pasir-Lanau-Lempung (Sheoard, 1954).....	12
Gambar 2.4 Material antropogenik bahan bangunan yang dapat ditemui pada lapisan tanah (Howard, 2017).....	14
Gambar 2.5 Perlapisan stratigrafi yang menunjukkan lapisan (I) yang merupakan lapisan sedimen dan lapisan (II, III, dan, IV) sedimen antropogenik (Howard, 2017).....	14
Gambar 2.6 Reaksi proses pengerasan plaster (Howard, 2017).....	20
Gambar 2.7 Kenampakan batu bata dan semen dengan umur yang diperkirakan tidak lebih dari 100 Tahun (Howard, 2017).....	21
Gambar 2.8 Proses pedosementasi dari besi oksida; a. Paku yang tidak terkorosi, b. Paku yang terkorosi dari sementasi tanah (Howard, 2017).....	29
Gambar 3.1 Pengambilan sampel menggunakan Alat <i>Percussion Core</i>	36
Gambar 3.2 Peta stasiun pengambilan sampel daerah penelitian.....	37
Gambar 3.3 <i>Sieve Shaker</i>	39
Gambar 3.4 Alat XRF	40
Gambar 4.1 Kondisi batas danau dengan daratan yang tergenang air pada Danau Sidenreng, Kelurahan Teteaji, Kecamatan Tellu Limpoe, Kabupaten Sidenreng Rappang, Provinsi Sulawesi Selatan.....	43
Gambar 4.2 <i>Diagram pie</i> distribusi ukuran butir daerah penelitian.....	44
Gambar 4.3 a. Kenampakan fisik dan sketsa sedimen pada SDS01 dan b. <i>Diagram pie</i> distribusi ukuran butir SDS01.....	45

Gambar 4.4	a. Kenampakan fisik dan sketsa sedimen pada SDS02 dan b. <i>Diagram pie</i> distribusi ukuran butir SDS02.....	46
Gambar 4.5	a. Kenampakan fisik dan sketsa sedimen pada SDS03 dan b. <i>Diagram pie</i> distribusi ukuran butir SDS03.....	47
Gambar 4.6	a. Kenampakan fisik dan sketsa sedimen pada SDS04 dan b. <i>Diagram pie</i> distribusi ukuran butir SDS04.....	48
Gambar 4.7	a. Kenampakan fisik dan sketsa sedimen pada SDS05 dan b. <i>Diagram pie</i> distribusi ukuran butir SDS05.....	49
Gambar 4.8	a. Kenampakan fisik dan sketsa sedimen pada SDS06 dan b. <i>Diagram pie</i> distribusi ukuran butir SDS06.....	50
Gambar 4.9	Material Antropogenik (MA), BT (Bagian Tumbuhan), dan jenis mineral pada SDS02 dengan ukuran butir >0,25 mm.....	51
Gambar 4.10	a. Pemberat jaring nelayan pada SDS02 dan b. Plester bangunan pada SDS02.....	52
Gambar 4.11	Histogram kandungan senyawa oksida SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ , dan K ₂ O pada SDS02 dan SDS04.....	53
Gambar 4.12	Histogram kandungan senyawa oksida TiO ₂ , CaO, MgO, dan Na ₂ O pada SDS02 dan SDS0.....	53
Gambar 4.13	Histogram kandungan senyawa oksida SO ₃ , P ₂ O ₅ , dan MnO pada SDS02 dan SDS04.....	54
Gambar 4.14	Jenis sedimen SDS01 berdasarkan Klasifikasi Shepard (1954)....	54
Gambar 4.15	Jenis sedimen SDS02 berdasarkan Klasifikasi Shepard (1954)....	55
Gambar 4.16	Jenis sedimen SDS03 berdasarkan Klasifikasi Shepard (1954)....	56
Gambar 4.17	Jenis sedimen SDS04 berdasarkan Klasifikasi Shepard (1954)....	56
Gambar 4.18	Jenis sedimen SDS05 berdasarkan Klasifikasi Shepard (1954)....	57
Gambar 4.19	Jenis sedimen SDS06 berdasarkan Klasifikasi Shepard (1954)....	57
Gambar 4.20	Perbandingan kenampakan mikroskopis SDS02 dan SDS04.....	60

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Skala ukuran butir yang dimodifikasi dari Udden (1898), Wentworth (1922), dan Friedman dan Sanders (1978) dalam Blott dan Kenneth (2001).....	11
Tabel 2.2 Material antropogenik yang umum dijumpai (Howard, 2017).....	16
Tabel 2.3 Komposisi penyusun material antropogenik yang umum dijumpai (Howard, 2017).....	17
Tabel 2.4 Karakteristik optik beberapa artefak (Howard, 2017).....	28
Tabel 2.5 Komposisi kimia penyusun jenis material antropogenik (Howard, 2017).....	32
Tabel 4.1 Hasil analisis geokimia XRF SDS02 dan SDS04 (Sucofindo, 2022).....	52
Tabel 4.2 Jenis material antropogenik daerah penelitian berdasarkan Klasifikasi Howard (2017).....	59

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sedimentasi adalah proses dimana batuan mengalami penghancuran, kemudian tertransportasikan, dan mengalami pengendapan yang diakibatkan oleh angin, air, gletser, dan gravitasi. Kecepatan pengendapan sedimen tergantung dari bentuk butir dan konsentrasi butir (Selley, 2000). Salah satu tempat pengendapan material sedimen dari pelapukan fisika, kimia, dan biologi yang disebabkan karena kondisi cuaca yaitu danau (Boggs, 1987). Material-material sedimen terendapkan biasanya terdapat material yang berasal dari aktivitas manusia yang disebut sebagai material antropogenik. Material antropogenik tersebut biasanya telah mengalami penghancuran akibat pengaruh dari luar, seperti pemanasan oleh sinar matahari, proses transportasi, dan pengendapan material sedimen (Makarov dan Torkovkin, 2018). Material antropogenik menjadi salah satu penyusun unit stratigrafi dengan istilah umur Kala baru, yaitu Antroposen (Waters, dkk, 2014). Selain itu, material-material antropogenik ini dapat diidentifikasi berdasarkan keberadaan anomali senyawa menggunakan analisis geokimia dengan metode *X-Ray Fluorescence* (XRF) (Selinus dan Esbensen, 1995).

Danau Sidenreng merupakan danau yang terletak di Kabupaten Sidenreng Rappang, Sulawesi Selatan dengan luas $\pm 4.753,30$ ha. Danau ini terus mengalami pendangkalan yang diakibatkan oleh proses sedimentasi (Hasrianti, 2020). Adapun salah satu *inlet* yang bermuara di Danau Sidenreng terletak di Kelurahan Teteaji, Kecamatan Tellu Limpoe yaitu Parit Lari'e (Perum Survai Udara, 1992).

Kajian tentang material antropogenik yang terbilang masih kurang sehingga perlu dilakukan, terkhusus di Indonesia. Kajian ini juga perlu digiatkan berhubung akan berdampak pada perkembangan keilmuan geologi di masa yang akan datang. Berdasarkan hal tersebut, maka peneliti melakukan penelitian Identifikasi Material Antropogenik Sedimen Permukaan Danau Sidenreng, Kelurahan Teteaji, Kecamatan Tellulimpoe, Kabupaten Sidenreng Rappang, Provinsi Sulawesi Selatan.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun yang menjadi rumusan masalah penelitian ini:

- a. Bagaimana persentase ukuran butir sedimen permukaan Danau Sidenreng?
- b. Apa jenis-jenis material antropogenik yang terdapat pada sedimen permukaan Danau Sidenreng?

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian lebih terarah, maka penelitian ini dibatasi mencakup:

- a. Pengambilan sampel menggunakan metode *percussion core* sebanyak 6 titik dengan jarak 50 meter dengan kedalaman sekitar 30 sentimeter.
- b. Penyaringan bertingkat untuk penentuan distribusi ukuran butir.
- c. Pengamatan mikroskopis untuk penentuan mineral dan material antropogenik penyusun sedimen menggunakan mikroskop pada sampel dengan ukuran butir.
- d. Analisis geokimia XRF untuk mengetahui konsentrasi senyawa mayor oksida penyusun sedimen. Selain itu, identifikasi anomali senyawa juga dilakukan pada sampel SDS02 dan SDS04.

- e. Hasil dari pengamatan mikroskopis dan analisis geokimia XRF akan dikorelasikan untuk pengidentifikasian material antropogenik.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan bertujuan:

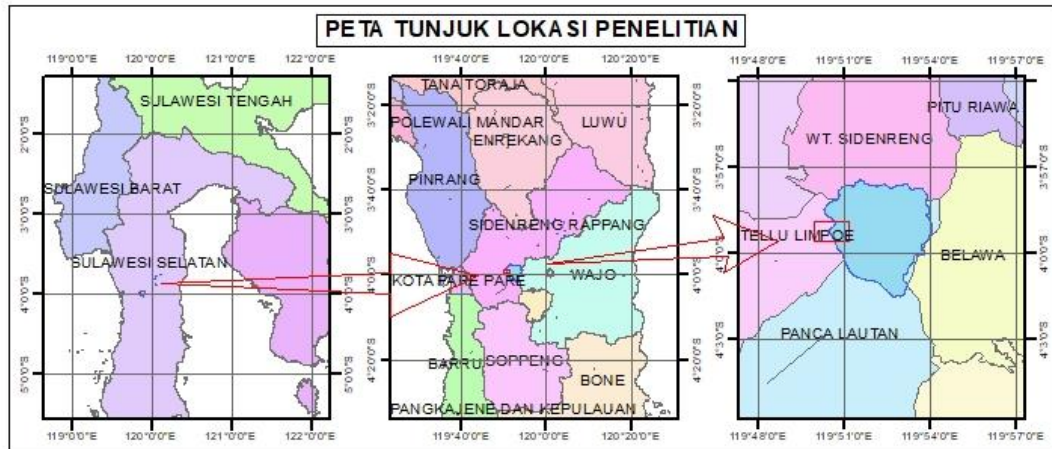
- a. Mengetahui persentase distribusi ukuran butir sedimen permukaan Danau Sidenreng.
- b. Mengetahui jenis-jenis material antropogenik yang terdapat pada sedimen permukaan Danau Sidenreng.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini yaitu dapat menambah informasi material antropogenik yang dibuktikan dengan keterdapatannya material antropogenik yang terendapkan pada material sedimen permukaan Danau Sidenreng.

1.6 Letak, Luas, dan Kesampaian Daerah

Secara administratif, daerah penelitian terletak di Kelurahan Teteaji, Kecamatan Tellu Limpoe, Kabupaten Sidenreng Rappang, Provinsi Sulawesi Selatan. Secara geografis, daerah penelitian terletak pada 3°59'2,254"-3°59'24,697" Lintang Selatan dan 119°50'3,330"-119°50'43,676" Bujur Timur. Lokasi penelitian berada sekitar 190 kilometer ke arah utara dari Kota Makassar melewati Kabupaten Maros, Kabupaten Pangkep, Kabupaten Barru, dan Kotamadya Pare-Pare yang ditempuh selama kurang lebih 5 jam sampai ke lokasi penelitian. Lokasi penelitian dapat diakses menggunakan kendaraan roda dua maupun roda empat.



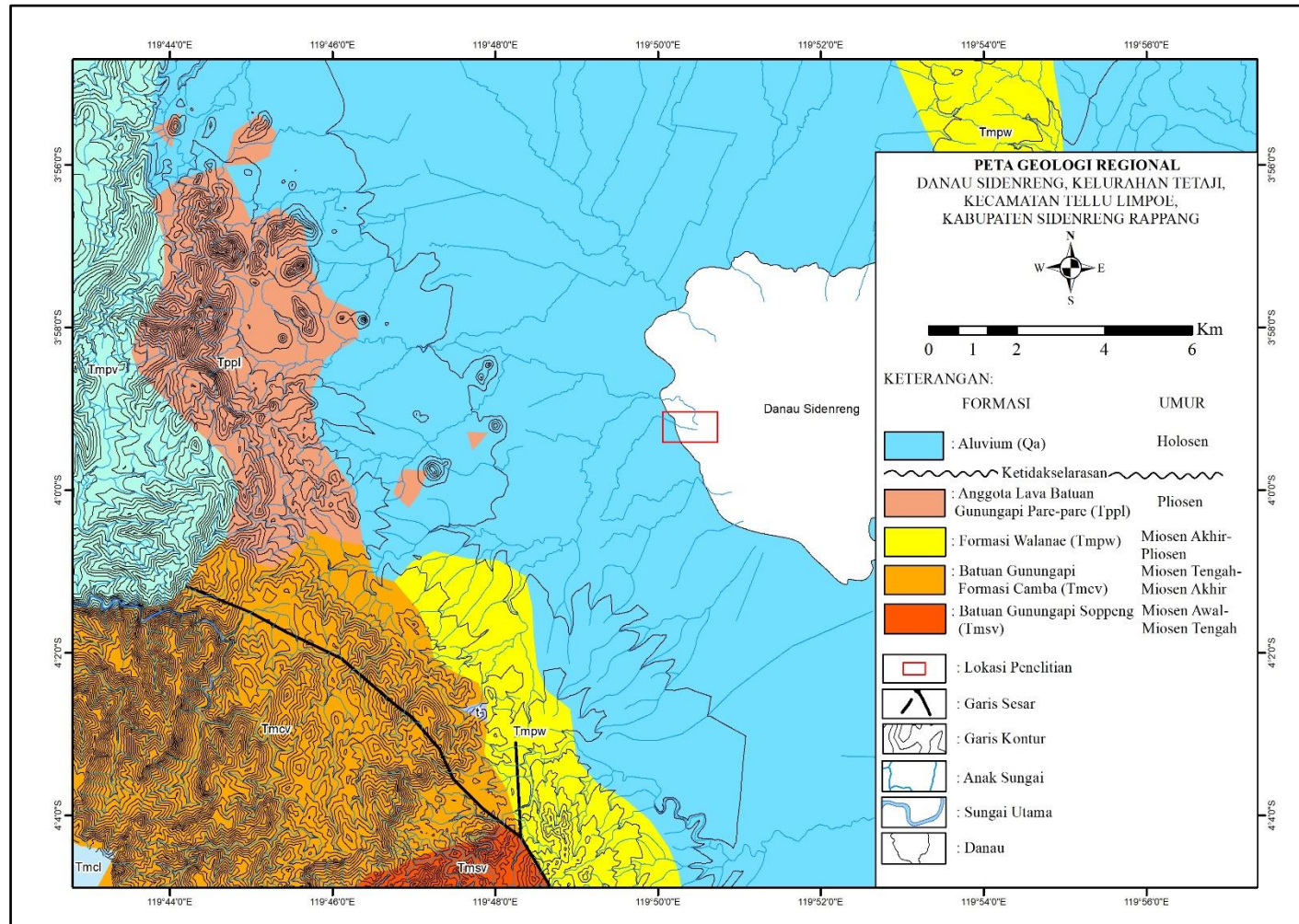
Gambar 1.1 Peta tunjuk lokasi daerah penelitian

BAB II

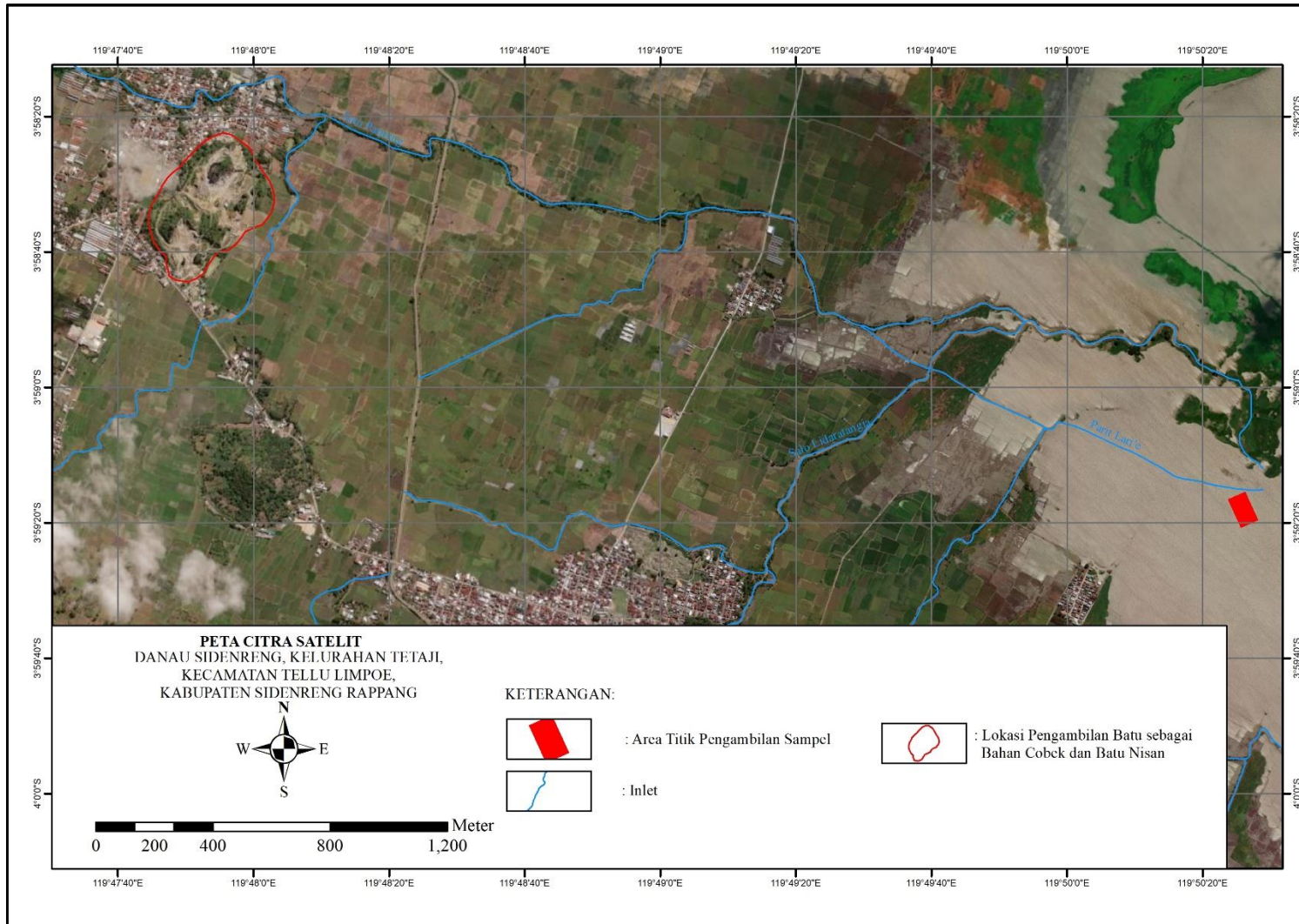
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Geologi Regional Daerah Penelitian

Geologi regional daerah penelitian termasuk dalam Peta Geologi Lembar Majene dan Bagian Barat Lembar Palopo skala 1 : 250.000 oleh Djuri dkk (1998) dan Peta Lembar Pangkajene dan Watampone Bagian Barat skala 1 : 250.000 oleh Sukanto (1982). Lokasi daerah penelitian terletak di Danau Sidenreng, Kelurahan Teteaji, Kecamatan Tellu Limpoe, Kabupaten Sidenreng Rappang dengan rincian berada bagian selatan pada Peta Geologi Lembar Majene dan Bagian Barat Lembar Palopo dan/atau bagian utara pada Peta Geologi Lembar Pangkajene dan Watampone Bagian Barat meliputi Endapan Aluvium, Anggota Gunungapi Parepare, Formasi Walanae, Formasi Camba, dan Batuan Gunungapi Soppeng (Gambar 2.1). Berdasarkan interpretasi peta citra satelit (Gambar 2.2), geomorfologi daerah penelitian berupa pedataran.



Gambar 2.1 Peta geologi regional daerah penelitian (Sukamto, 1982 dan Djuri, dkk, 1998)



Gambar 2.2 Peta citra satelit daerah penelitian

Berdasarkan peta citra satelit dan geologi regional daerah penelitian, terdapat:

- a. Inlet pada Sungai Amparita, Parit Lari'e, dan Sungai Lajakaria yang menjadi sumber penyuplai material sedimen pada bagian barat Danau Sidenreng.
- b. Endapan Aluvium (Qa) terdiri atas lempung lanau, pasir, dan kerikil.
- c. Anggota Gunungapi Parepare (Tppl) terdiri dari litologi lava trakit. Berdasarkan Sirajuddin dkk (2011) mineral utama penyusun trakit dari Anggota Gunungapi Parepare adalah alkali felspar, plagioklas dan biotit.
- d. Formasi Walanae (Tmpw) terdiri dari litologi batupasir berselingan batulanau, tufa, napal, konglomerat, dan batulanau. Berdasarkan Ardiansyah, dkk (2015), batupasir Formasi Walanae umumnya didominasi oleh fragmen batuan, mineral kuarsa, feldspar, kalsit, biotit, mineral opak dan semen.
- e. Formasi Camba (Tmcv) terdiri dari batuan sedimen laut berselingan dengan batuan gunungapi; batupasir tufaan berselingan tufa, batupasir, batulanau, dan batulempung. Berdasarkan Cahyaningtyas (2010), batuan gunungapi Formasi Camba berkomposisi andesitik-basaltik, dimana kandungan mineralnya didominasi oleh mineral plagioklas (baik dengan dominasi komposisi kalsium maupun sodium), orthopiroksin, augit, hornblende, dan biotit.
- f. Batuan Gunungapi Soppeng (Tmsv) terdiri dari litologi breksi gunungapi, lava dengan sisipan tufa sampai lapili, batulempung, dan tufa. Di bagian utara lebih banyak tufa dan breksi, sedangkan di bagian selatan lebih banyak lavanya; sebagian bersusunan basal piroksen dan sebagian basal leusit, kandungan leusitnya makin banyak ke arah selatan (Sukamto, 1982).

Danau Sidenreng memiliki luas ± 3000 ha (hektar) dan rentan terhadap musim sehingga pada musim hujan luasnya menjadi ± 35.000 ha (hektar) serta bersatu dengan Danau Tempe dan Danau Buaya (Whitten dkk., 2002). Hal tersebut menyebabkan kawasan pemukiman yang berada pada sekitar Danau Sidenreng akan terdampak banjir akibat luapan Danau Sidenreng pada saat musim hujan.

Lokasi penelitian berada pada Kelurahan Teteaji, Kecamatan Tellu Limpo'e, Kabupaten Sidenreng Rappang, Provinsi Sulawesi Selatan. Adapun luas lokasi penelitian ialah 1,24 ha (hektar) atau 1.245 m² (meter persegi). Saluran masuk (*inlet*) pada lokasi penelitian terdiri dari tiga *inlet*, yakni Sungai Amparita di bagian utara dan berjarak ± 416 meter dari lokasi penelitian, Parit Lari'e juga di bagian utara dan berjarak ± 81 meter dari lokasi penelitian, dan Sungai Lajarakaria di bagian selatan dan berjarak ± 55 meter dari lokasi penelitian. Di sisi lain, hanya terdapat satu saluran keluar (*outlet*) Danau Sidenreng yang menghubungkan antara Danau Sidenreng dan Danau Tempe.

2.2. Sedimen dan Sedimentasi

Endapan sedimen adalah tubuh material padat yang terakumulasi di permukaan atau di dekat permukaan bumi, pada kondisi tekanan dan temperatur yang rendah. Pada umumnya sedimen diendapkan dari fluida yang mengangkut material sedimen, baik sebagai larutan maupun suspensi. Selain itu terdapat beberapa jenis endapan lain yang telah disepakati oleh para ahli sebagai endapan sedimen bahwa sedimen diendapkan dari udara sebagai benda padat di suhu yang relatif tinggi, misalnya material fragmental yang dilepaskan dari gunungapi dan

sedimen diendapkan pada tekanan yang relatif tinggi, misalnya endapan dasar laut dalam (Pettijohn, 1975).

Sifat alami sedimen sangat bervariasi dalam asal, ukuran, bentuk dan komposisi. Partikel seperti butiran dan kerikil dapat berasal dari erosi batuan yang lebih tua atau langsung dikeluarkan dari gunungapi. Organisme merupakan sumber bahan yang sangat penting, mulai dari filamen mikroba mengandung kalsium karbonat hingga cangkang utuh atau rusak, terumbu karang, tulang, dan puing-puing tanaman. Dalam beberapa situasi, pengendapan mineral dari proses presipitasi dalam air juga berkontribusi terhadap sedimen (Nichols, 2009).

2.2.1 Ukuran Butir

Ukuran butir (*grain size*) adalah sifat dasar batuan sedimen silisiklastik dan menjadi salah satu sifat deskriptif yang penting dari batuan tersebut. Menurut Boggs (1987), ada 3 faktor yang mempengaruhi ukuran butir batuan sedimen, yaitu variasi ukuran butir sedimen, proses transportasi, dan energi pengendapan. Data hasil analisis ukuran butir sedimen digunakan untuk mengetahui tiga faktor tersebut secara jelas. Selain itu, terdapat pula tiga aspek yang perlu diperhatikan dalam pemerian ukuran butir sedimen, yaitu 1) teknik pengukuran ukuran butir sedimen, 2) metode penyajian data ukuran butir, dan 3) kegunaan data ukuran butir (Boggs, 1987).

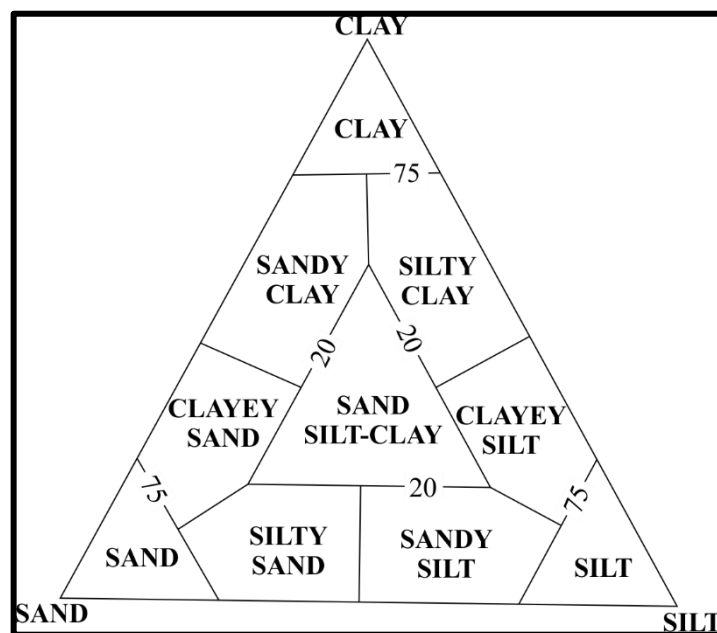
Terdapat beberapa tingkat skala ukuran butir yang telah dikembangkan, namun pada umumnya yang sering digunakan oleh ahli sedimentologi adalah skala Udden-Wentworth. Skala ini pertama kali diusulkan oleh Udden pada tahun 1989 dan kemudian dimodifikasi dan dikembangkan oleh Wentworth pada tahun 1922

(dalam Pettijohn, 1975). Wentworth mengembangkan skala geometri yang mana tiap nilai pada skala tersebut dua kali lebih besar dari nilai terdahulu, atau satu-setengah besarnya, berdasarkan pada petunjuk (Tabel 2.1). Skala Wentworth berkisar antar lebih kecil dari 1/256 mm (0,0039 mm) sampai lebih besar dari 256 mm dan terbagi menjadi empat kategori utama (lempung, lanau, pasir, dan kerikil), yang mana lebih jauh dapat dibagi lagi seperti yang diilustrasikan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Skala ukuran butir yang dimodifikasi dari Udden (1898), Wentworth (1922), dan Friedman And Sanders (1978) dalam Blott dan Kenneth (2001)

Grain size		Descriptive terminology		
phi	mm/ μ m	Udden (1914) and Wentworth (1922)	Friedman and Sanders (1978)	GRADISTAT program
			Very large boulders	
-11	2048 mm		Large boulders	Very large
-10	1024	Cobbles	Medium boulders	Large
-9	512		Small boulders	Medium
-8	256		Large cobbles	Small
-7	128		Small cobbles	Very small
-6	64			
-5	32	Pebbles	Very coarse pebbles	Very coarse
-4	16		Coarse pebbles	Coarse
-3	8		Medium pebbles	Medium
-2	4		Fine pebbles	Fine
-1	2	Granules	Very fine pebbles	Very fine
0	1	Very coarse sand	Very coarse sand	Very coarse
1	500 μ m	Coarse sand	Coarse sand	Coarse
2		Medium sand	Medium sand	Medium
3		Fine sand	Fine sand	Fine
4		Very fine sand	Very fine sand	Very fine
5	31	Silt	Very coarse silt	Very coarse
6	16		Coarse silt	Coarse
7	8		Medium silt	Medium
8	4		Fine silt	Fine
9	2		Very fine silt	Very fine
		Clay	Clay	Clay

Beberapa skala besar butir yang lain tidak bersifat geometris dan tidak pula linier. Skala tidak beraturan seperti itu yang dicetuskan oleh Shepard (1954) (Gambar 2.3). Skala itu memang memberikan hasil yang memuaskan bila digunakan untuk memerikan material berbutir sedang dan halus, namun kurang sesuai bila digunakan untuk meneliti material berbutir kasar.



Gambar 2.3 Klasifikasi ukuran butir Skala Pasir-Lanau-Lempung (Shepard, 1954)

2.2.2 Sedimen Kuarter

Pengetahuan mengenai sedimen Kuarter perlu dipelajari agar dapat menjelaskan sejarah endapan sedimen yang menyusun litosfer bumi. Sedimen Kuarter ditinjau berdasarkan karakteristik geometris, tekstur, struktural dan biologisnya. Sifat-sifat ini terkait dengan kejadian fisiografi, geometri aliran dan dinamika air yang mengalir sebagai pengontrol atas pengangkutan dan pengendapan sedimen serta aktivitas arus. Sehingga dari karakteristik tersebut dapat diketahui fasies endapan sedimen Kuarter beserta faktor yang memengaruhinya (Allen, 1968).

Material sedimen yang terakumulasi di cekungan danau dapat menggambarkan banyak hal apabila ditinjau dari ukuran partikel, mineralogi, sumber material, atau variabel potensi lainnya. Namun pada umumnya pembahasan mengenai endapan sedimen danau terdiri dari dua garis besar, yakni *terrigenous sediments* (sedimen klastik) dan *chemical sediments* (sedimen kimiawi). Beberapa danau hanya mencakup salah satu dari keduanya, namun banyak juga danau yang mencakup akumulasi dari kedua jenis sedimen tersebut (Davis, 1983).

2.3 Material Antropogenik

Material antropogenik adalah material yang terendapkan pada sedimen yang diakibatkan oleh proses alam yang berasal dari kegiatan manusia. Material ini dapat ditemukan di semua lingkungan. Material antropogenik dapat membentuk lapisan sedimen baru yang terjadi karena pengendapan material sedimen. Penelitian mengenai material antropogenik menjadi dasar untuk keilmuan agronomi dan arkeologi karena berhubungan dengan lingkungan dimana tanah atau material sedimen menjadi objek penelitiannya (Howard, 2017).

Dewasa ini, material antropogenik dipelajari bukan lagi hanya untuk agrikultur, tetapi juga dipelajari untuk perkembangan keilmuan urbanisasi atau sejarah perkembangan sosial di daerah tersebut yakni mengenai perkembangan pembangunan infrastruktur, bukti-bukti aktivitas manusia di masa lampau, maupun terkait dengan perkembangan populasi manusia. Seperti halnya terkait peningkatan populasi setelah Perang Dunia Kedua yang dikenal dengan "The Great Acceleration" dimana fenomena ini berkaitan dengan globalisasi (Howard, 2017).



Gambar 2.4 Material antropogenik bahan bangunan yang dapat ditemui pada lapisan tanah (Howard, 2017)

Stratigrafi adalah ilmu yang mempelajari strata (lapisan batuan dan sedimen) untuk penamaan dan mengklasifikasikannya berdasarkan skala waktu geologi. Interval waktu geologi yang paling muda yaitu Holosen, dimana dimulai 10.000 tahun radiokarbon atau 11.477 ± 85 kalender tahun yang lalu. Istilah Antroposen diperkenalkan untuk menggambarkan akibat aktivitas manusia pada masa itu. Banyaknya bukti-bukti bahwa adanya kegiatan manusia di masa lampau, seperti tulang-tulang hewan, cangkang kerang, dan masih banyak lagi yang terendapkan di tanah (Howard, 2017).



Gambar 2.5 Perlapisan stratigrafi yang menunjukkan lapisan (I) yang merupakan lapisan sedimen dan lapisan (II, III, dan IV) sedimen antropogenik (Howard, 2017)

Adapun material antropogenik berupa benda yang dapat ditemui keberadaannya pada lapisan sedimen baik secara makro dengan ukuran lebih dari 2 milimeter disebut sebagai artefak dan apabila melalui pengamatan mikroskopis

dengan ukuran antara 0,25 milimeter hingga 2 milimeter disebut sebagai mikroartefak (Howard, 2017).

2.3.1 Artefak

Artefak sebagai material antropogenik selalu berkaitan dengan limbah batubara (batu bara, arang, dan sebagainya), material-material bangunan, (batu bata, semen, dan sebagainya), limbah pabrik (batu bara, ampas bijih, dan sebagainya), dan benda-benda arkeologi (tembikar, tulang, dan sebagainya). Artefak diklasifikasikan menjadi *carbonaceous*, *calcareous*, *siliceous*, *ferruginous*, dan *miscellaneous* yang berdasarkan komposisi penyusunnya. Artefak *carbonaceous* tersusun dari material organik, *calcareous* tersusun oleh mineral-mineral karbonat, *siliceous* tersusun oleh mineral silikat dan gelas, *ferruginous* tersusun oleh Fe Oksida, dan *miscellaneous* tersusun oleh mineral sulfat, mineral fosfat, dan sebagainya. Artefak yang tersusun oleh mineral dan material bertekstur *glassy* kadang-kadang tidak ditemui pada lapisan tanah sehingga sulit untuk diidentifikasi (Howard, 2017).

Tabel 2.2 Material antropogenik yang umum dijumpai (Howard, 2017)

Jenis Material		Definisi	Sumber
Batubara dan Limbah Batubara	Batubara	Batuan sedimen yang terbentuk dari karbonisasi sisa tanaman	Limbah domestik, bahan bakar komersil
	Limbah Batubara	Material sisa ukuran kerikil setelah batubara dibakar pada suhu 1.200-1.500 °C	Domestik, <i>Power Plant</i> , Smelter
	Abu Batubara	Limbah batubara ukuran debu yang berasal dari pembakaran batubara	Pembakaran batubara
Limbah Bahan Bangunan	Kayu	Jaringan keras xilem pada pohon	Penggunaan pada konstruksi berkerangka kayu.
	Arang	Residu pembakaran kayu yang menghasikan karbon berwarna hitam	Sisa kayu yang dibakar baik untuk bahan bakar atau bahan bangunan
	Beton Asfaltik	Semen <i>bituminous</i> dengan campuran batuan	Hasil pembuatan trotoar jalan
	Beton <i>Lime</i>	Campuran semen kapuran dengan material kerikil	Hasil pembuatan trotoar jalan dan konstruksi bangunan
	Adukan Semen	Campuran semen kapuran dengan material pasir	Dari pertukangan batu
	Batako	Beton yang mengandung campuran kerikil	Dari pertukangan batu pada pembangunan dinding dan pondasi
	Kaca Jendela	Transparan, seperti mineral amorf yang mirip dengan material dari silika	Hasil dari pembuatan kaca jendela dan botol, dan sebagainya
	Batubata Keramik	Blok mirip batuan yang padat dari pembakaran lempung pada suhu 900-1.100 °C	Digunakan pada pertukangan batu
	Pipa Keramik, Ubin, dan sebagainya.	Item mirip batuan yang padat dari pembakaran lempung pada suhu 900-1.100 °C	Digunakan pada pipa air dan limbah
	Besi Terkorosi (Paku-pakuan)	Material yang diproduksi dari pemanasan besi, batugamping, dan batubara pada suhu sekitar 1.500 °C	Hasil dari pembangunan berbahan kayu
	<i>Wallpaper</i> Dinding Bangunan	Lembaran besar sebagai plester pada dinding bangunan	Hasil dari pembangunan dinding interior dan langit-langit ruangan
Limbah Industri	Kokas	Bahan bakar karbon yang keras dan hitam dari hasil pembakaran batubara pada suhu 300 °C	Hasil dari bahan bakar pelelehan besi dan pembangkit berbahan bakar batubara
	Ampas Bijih Logam	Limbah anorganik, <i>ferruginous</i> , baik kristalin maupun tidak kristalin dari hasil pelelehan besi kokas, dan batugamping pada suhu 1.500-2.000 °C	Pembuatan besi dan baja

	Terak Kaca	Limbah anorganik, non kristalin dari hasil pelelehan besi kokas, dan batugamping pada suhu 1.500-2.000 °C	Pembuatan besi dan baja
Material Arkeologi	Tembikar	Item rumah tangga yang terbentuk dari pembakaran lempung pada suhu 900-1.100 °C	Kegunaan domestik
	Tulang	Material anorganik yang tersusun dari apatit	Sisa dari peternakan hewan
	Kaca Botol	Material transparan, non kristalin material	Kegunaan domestik dan komersil

Tabel 2.3 Komposisi penyusun material antropogenik yang umum dijumpai (Howard, 2017)

Jenis Artefak		Komposisi
<i>Carbonaceous</i>	Kayu	Komposit jaringan selulosa dan hemiselulosa pada matriks pohon
	Arang	Tersusun dari karbon dan beberapa lignin
	Batubara	Maseral organik dari berbagai jenis, seperti kuarsa minor, illit, kaolinit, felspar, kalsit, dolomit, pirit, dan galena
	Kokas	Maseral inertinit dan karbon hitam
	Beton Aspalitik	Hidrokarbon <i>bituminous</i>
<i>Calcareous</i>	Beton Lime	Campuran dari kalsit, pertlandit, belit, alit, tobermorit, etringit, dengan fragmen batuan beragam
	Adukan Semen	Campuran dari kalsit, pertlandit, belit, alit, tobermorit, etringit, dengan fragmen batuan beragam
	Batako	Komposisi sama dengan beton, tetapi mengandung terak dan abu <i>furnace</i>
	Batubata lime	Campuran dari kalsit, pertlandit, belit, alit, tobermorit, etringit, dengan fragmen batuan beragam
<i>Siliceous</i>	Limbah Batubara	Kaca Aluminosilikat, mulit, kuarsa, magnetit, dan hematit
	Abu Batubara	Kaca Aluminosilikat, mulit, kuarsa, magnetit, kalsit, dan hematit
	Sisa Pembakaran Serpih	Kuarsa, gelas, mulit, dan hematit
	Batubata Keramik	Kaca Aluminosilikat, mulit, wollastonit, kristobalit, sanidin, hematit, dan kuarsa
	Pipa Keramik, Ubin, dan sebagainya	Kaca Aluminosilikat, mulit, wollastonit, kristobalit, sanidin, dan hematit
	Pecahan Tembikar	Kaca Aluminosilikat, filosilikat, mulit, wollastonit, kristobalit, sanidin, dan hematit
	Kaca Soda	Silika amorf, biasanya mengandung Na, Ca, dan Fe, Cu, atau Co
	Terak Kaca	Kaca, hematit, dan magnetit

<i>Ferruginous</i>	Limbah Besi	Gelas, merwinit, melilit, wollastonit, belit, olivin, wusit, magnetit, hematit, kalsit, dan portlandit
	Besi Terkorosi (Paku-pakuan, dan sebagainya)	Ferit, ferihidrit, dan goetit
	Mikrosfer Besi	Magnetit
Lainnya	Plester Bangunan	Gypsum yang mengandung fiber plastik atau rambut hewan
	Tulang	Fiber kolagen dan hidroksiapatit

2.3.1.1 Artefak *Carbonaceous*

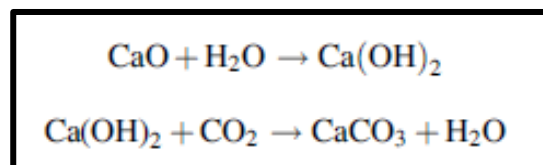
Artefak *carbonaceous* adalah artefak yang berikatan dengan atom C dengan jenis kayu, arang, batu bara, tungku arang, dan aspal. Artefak jenis ini tersusun dari unsur organik yang kompleks serta telah mengalami perubahan ke fase pembentukan batu bara dan telah menyatukan unsur organik yang cocok untuk pembakaran. Kayu biasanya digunakan untuk material bangunan dan kadang-kadang ditemukan sebagai alat yang sering dipajang di situs arkeologi. *Lumber* diproduksi dari jaringan xilem pohon yang memiliki struktur selular dimana tersusun dari selulosa dan lignin. Kayu akan mengalami dekomposisi pada suhu 250 °C hingga 400 °C. Demikian, arang yang tersusun dari hidrokarbon dengan tekstur sisa dari sumber pohonnya. Batu bara tersusun maseral vitrinit dengan menampakkan mikrostruktur dari kayu (Howard, 2017).

Aspal yang memiliki kandungan beton tersusun dari material bahan bangunan dengan ukuran butir kerikil, agregasi mineral yang saling melekat oleh *mastic asphalt*. *Mastic asphalt* tersusun oleh pasir halus dengan material pengikat aspal yang menahan ukuran butir yang lebih besar dari kumpulannya. Material pengikat aspal bersifat berwarna hitam, viskositas yang tinggi, cairan karbonat yang terbentuk pada proses pendidihan petroleum pada suhu ~525 °C. Adapun beton asfaltik diproduksi dari pencampuran aspal dan kerikil bangunan pada suhu ~150 °C, dan menekan lapisan pada jalan dengan mobil bomak. Beton asfaltik umumnya digunakan pada pembangunan jalan di Amerika Serikat sejak tahun 1870-an. Umumnya tersusun dari 5% material pengikat aspal dan 95% kerikil bangunan (Howard, 2017).

2.3.1.2 Artefak *Calcareous*

Artefak *calcareous* adalah artefak yang berikatan dengan Ca, C, dan O dengan jenis beton, semen, batako, batu bata dari batugamping, dan semua bahan bangunan yang biasanya berasal dari batugamping adalah jenis artefak *calcareous* yang dapat ditemukan pada lapisan tanah. Beton adalah bahan bangunan yang tersusun dari batuan dengan ukuran kerikil hingga pasir dimana fragmen-fragmen mineral yang terkompaksi menjadi sangat keras. Sebagian besar beton tersusun dari semen yang memiliki campuran air. Kandungan beton kira-kira 30% hingga 60% kerikil, 25%-30% pasir, dan 10%-15% semen. Beton dicampur dan dibentuk untuk landasan pembentukan rumah, atau bahan untuk pembuatan jalan. Beton juga biasanya dikombinasikan dengan batu bata (Howard, 2017).

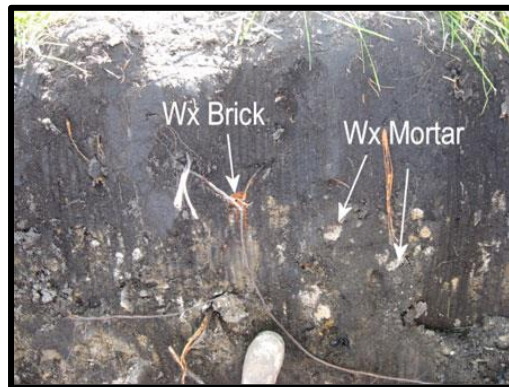
Plaster bahan bangunan tersusun dari pasir, air, dan material batugamping (CaO). Artefak ini mengeras dari proses karbonasi, yaitu reaksi antara CaO dengan CO₂ dari udara membentuk CaCO₃. Proses ini akan membuatnya menjadi halus dalam waktu beberapa minggu atau bulanan, tetapi ketika telah mengeras maka akan bertahan lama. Beberapa plaster dinding orang Rumania dapat bertahan hingga lebih dari 2.000 tahun di bawah tekanan cuaca Mediterania (Howard, 2017).



Gambar 2.6 Reaksi proses pengerasan plaster (Howard, 2017)

Kenampakan mikroskopis beton menunjukkan kehadiran banyaknya rongga-rongga pada material semen yang tersusun dari padatan semen dan biasanya mengindikasikan pelapukan yang cepat dari pelarutan ulang mineral gipsium dari

dekomposisi plaster. Beberapa lapisan tanah menunjukkan material semen terdisintegrasi kurang lebih 20 tahun. Batu bata dari batugamping dikarakterisasikan dengan ketahanan yang sangat rapuh, dan sudah dilarang penggunaannya sebagai material bangunan di segala tempat (Howard, 2017).



Gambar 2.7 Kenampakan batu bata dan semen dengan umur yang diperkirakan tidak lebih dari 100 tahun (Howard, 2017)

2.3.1.3 Artefak *Siliceous*

Artefak *siliceous* ditemukan pada lapisan tanah yang biasanya berasosiasi dengan limbah batubara, seperti ampas batubara, serpih karbonan, dan serpih hasil proses pembakaran, batu bata, dan beberapa jenis bahan keramik, tembikar, dan beberapa jenis bahan dari kaca. Artefak ini berikatan dengan Si dan O. Ampas batubara adalah bahan anorganik yang dihasilkan dari proses pembakaran batubara pada temperatur 1.200 °C hingga 1.500 °C. Ukurannya biasanya dari 2 milimeter hingga 10 milimeter dalam ukuran butir berupa kerikil. Pada *hand-specimen*, ampas batubara dapat ditemukan bersamaan dengan ampas bijih metalurgi, dua-duanya menyerupai ampas basaltik. Ampas batubara terbentuk dari partikel *ash*, dihasilkan dari material anorganik dari batubara, mengeras bersama ketika proses pelepasan gas dalam plastik atau bentuk yang sudah meleleh. Ampas dapat juga dari fragmen *carbonaceous* atau serpih *argillaceous* yang berasosiasi dengan batubara, dimana

terkumpul secara tiba-tiba pada saat penambangan, dan terbakar bersamanya. Pada tungku pembakaran yang kecil, ampas batubara dibersihkan dari kotak pengapian menggunakan alat pengaduk logam yang panjang, dimana tungku pembakaran yang besar dapat didesain agar ampas bijih yang meleleh dapat mengalir keluar melalui lubang di samping atau di bawahnya. Ampas batubara tersusun dari mineral yang konstituen dengan batubara, seperti kalsit, mineral lempung (kaolinit, ilit), feldspar, kuarsa, dan pirit. Pada temperatur 900 °C hingga 1.200 °C, kalsit terdekomposisi menjadi batugamping, dan mineral lempung dan feldspar terdekomposisi menjadi kaca atau fase dimana temperatur tinggi seperti spinel, mulit, dan sanidin. Kuarsa stabil hingga suhu 1.800 °C dan umumnya tidak bereaksi, tetapi dalam jumlah yang kecil dapat mencair menjadi kaca atau tridimit. Pada temperatur 200 °C hingga 1.000 °C, pirit terdekomposisi menjadi hematit, dimana stabil hingga temperatur 1.388 °C. Bagaimanapun, hematit dapat menjadi magnetit dari proses oksidasi pada temperatur 900 °C hingga 1.000 °C, atau dengan cepat (kurang dari 3 menit) pada temperatur 600 °C dengan proses reduksi dari jumlah kecil H₂. Rata-rata komposisi dari ampas batubara sekitar 60% kaca, 25% mulit, 8% kuarsa, 5% besi oksida, dan 2% *miscellaneous*. Pada kenampakan mikroskopis, ampas batubara dikarakterisasikan dengan mikrostruktur vesikuler, struktur fluksi, dan kumpulan kristal mulit akikular (Howard, 2017).

Serpit *carbonaceous* adalah batuan *argillaceous* yang tersusun dari silikat, dan mengandung beberapa jenis material *bituminous*. *Carbonaceous* atau serpit *argillaceous* biasanya saling menjari dengan batubara, dan kemunculannya bersamaan dengan batubara karena proses pembakaran batubara di masa lampau.

Batuan ini memiliki mineralogi yang unik, dimana terdapat kaca, mulit, dan silikat bertemperatur tinggi, yang dihasilkan dari material detrital dari serpih dari pembakaran batubara. Dengan demikian, serpih hasil pembakaran umumnya berasosiasi dengan batubara dan artefak ampas batubara pada lapisan tanah (Howard, 2017).

Batu bata keramik adalah jenis batuan yang mirip dengan blok yang dihasilkan dari pembakaran lempung, biasanya pada temperatur 800 °C hingga 1.200 °C. Batu bata keramik telah digunakan sebagai material bangunan sejak zaman dahulu. Komposisi dari batu bata tergantung dari waktu sejarah dimana komposisi mineraloginya berbeda sesuai dengan zaman, waktu pembakaran, dan temperatur dan kondisi atmosfer. Batu bata di Amerika Serikat dibuat dengan pencampuran lempung dan pasir (untuk mengurangi proses penghancuran) dan air, pembentukan dan pemotongan batu bata menggunakan tangan, dan dibakar pada temperatur kurang lebih dari 1.000 °C di tanah. Batu bata yang dibakar pada suhu kurang dari 1.000 °C umumnya kurang dari mulit dan kristobalit, dan akan menjadi berpori dan lemah. Pada kenaikan temperatur, karbonat terdekomposisi pada temperatur 820 °C hingga 890 °C, dan di atas 1.000 °C, filosilikat terdekomposisi menjadi kaca aluminisilikat dan hematit. Pada suhu tinggi yang lain muncul mineral, seperti mulit, sanidin, dan kristobalit. Pada saat pembakaran, tekstur luar dari batu bata menjadi kaca yang mengembang, dimana tekstur dalam menjadi berpori dan melapuk (Howard, 2017).

Material keramik yang digunakan sebagai material bangunan, meliputi ornamen, tembikar, tembikar dari tanah, porselen, dan sebagainya. Tembikar dari

tanah dimana prosesnya dari zat cair menjadi padat sangat kurang, *unglazed*, kasar, berongga, berwarna merah atau merah keputihan dimana dihasilkan pembakaran suhu rendah (kurang dari 900 °C). Belanga yang dibakar pada suhu yang lebih tinggi sekitar 1.100 °C hingga 1.300 °C dan lebih dalam prosesnya dari zat cair menjadi padat, tetapi lebih kuat dan kurang permeabel. Porselen memiliki warna putih yang mengkilat, kuat, tebal, keramik yang tidak permeabel terbentuk dari kaolinit dan feldspatit dimana dibakar pada temperatur 1.100 °C, disebabkan dari penarikan yang cepat dari kulit (Howard, 2017).

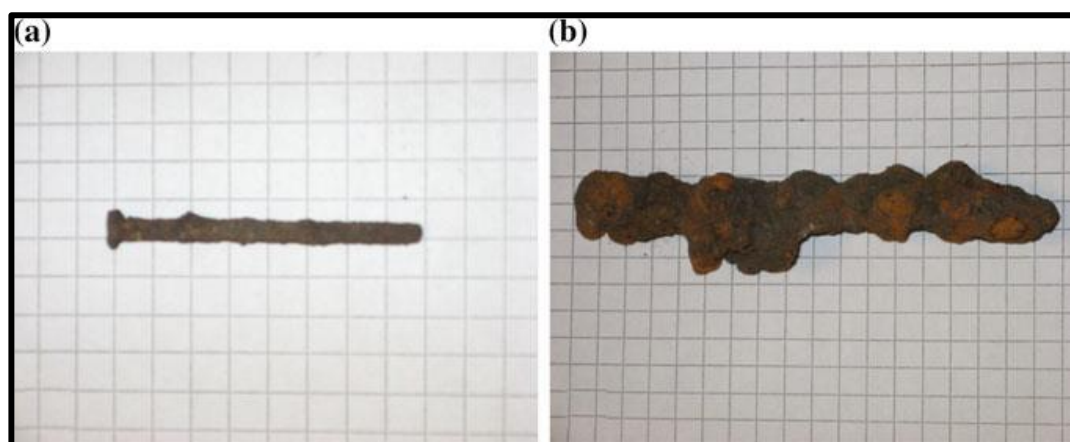
Kaca yang memiliki material kapur, material non-kristalin, dihasilkan dari pemanasan dari silikat yang mencair. Kontainer dan kaca jendela biasanya terbuat dari pasir kuarsa, kadang-kadang ditambahkan Sodium (Na_2O) dan material gamping (CaO) sebagai agen penurunan temperatur pelelehan. Material kaca tembikar kadang-kadang dapat diidentifikasi mikroskop dari pigmentasi dan warnanya (Howard, 2017).

2.3.1.4 Artefak *Ferruginous*

Artefak *ferruginous* dengan kandungan unsur Fe ditemukan di lapisan tanah dan menjadi objek utama karena ditempa dari besi atau baja, dan ampas bijih logam berasosiasi dengan artefak ini. Ampas bijih ini kurang tekstur kacanya, material anorganiknya berasal pelelehan besi saat pembuatan besi dan bajany. Pembuatan besi umumnya melibatkan pemanasan bijih besi, batu bara, batugamping, dan *dolostone* pada temperatur sekitar 2.000 °C yang resisten, tungku pembakaran batu bata. Hal ini akan membuat bahan yang telah meleleh mengandung material batugamping dimana bereaksi dengan silika dan menghasilkan ampas bijih silikat

yang meleleh. Ampas bijih yang umumnya tersusun dari partikel ukuran kerikil dari beberapa jenis bongkahan kaca yang berwarna-warni., menjadi material keabu-abuan dengan tekstur vesikuler yang sama dengan basaltik. Baik besi dan baja dalam pembuatannya ampas bijih biasanya disusun oleh material oksida dan karbonat, dalam matriks non-krsitalin dan kristalin silikat. Karakteristik mikroskopis dari ampas bijh besi yang meleleh seperti basal, tetapi plagioklas tidak ditemukan. Ampas bijih yang berasosiasi dengan batubara memiliki kandungan kaca, magnetit, merwinit, melilit, belit, dan sebagainya. Ampas bijih diidentifikasi sebagai material yang tingkat ketahanannya tinggi karena komposisinya berasal dari kaca (Howard, 2017).

Penyebaran yang luas dari artefak *ferruginous* yang tersusun dari besi atau baja sering ditemui di lapisan tanah, seperti paku, kawat, paku jalanan, briket, batang, dan beberapa bagian mobil, dan sebagainya dengan tekstur yang metalik. Material-materialini mudah mengalami pengkaratan. Proses korosi dari besi umumnya diakibatkan oleh proses mikrobial elektrokimia yang menghasilkan ferihidrit dan goetit (Howard, 2017).



Gambar 2.8 Proses pedosementasi dari besi oksida; **a.** Paku yang tidak terkorosi, **b.** Paku yang terkorosi dari sementasi tanah (Howard, 2017)

2.3.1.5 Artefak *Miscellaneous*



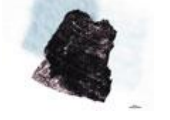




Artefak *miscellaneous* adalah jenis artefak yang berikatan dengan Sulfat (SO_4), Fosfat (PO_4), dan sebagainya. Artefak ini kadang-kadang ditemukan berupa tulang, plaster dengan bahan dasar gipsum dan bahan bekas dinding, dan cat.. Tulang-tulang manusia dan peternakan biasanya ditemukan pada konteks arkeologi. Tulang mamalia tersusun dari sebagian dari maerial yang berspons, berongga, dan sebagian tidak berongga. Tulang biasanya terdekomposisikan oleh tanah dan menurunkan pH. Meskipun begitu, tulang akan tetap awet di tanah yang *calcareous* untuk beberapa dekade ke depan. (Howard, 2017).




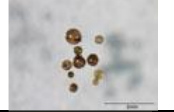

Plaster dengan menggunakan bahan dasar gipsum yang digunakan oleh orang Rumania pada zaman dahulu dicampur dengan pasir, material batugamping, gipsum, dan *volcanic ash*. Cat yang untuk dinding bangunan menggunakan pigmen dengan cara dikeringkan dengan tujuan memberikan perlindungan pada dinding rumah. Kebanyakan cat modern telah menggunakan minyak dan air sebagai bahan dasarnya. Biasanya, cat dibuat mencampurkan pigmen dengan talk, material batugamping, lempung, dan sebagainya. Timbal putih atau serusit biasanya digunakan pada campuran cat pada akhir abad ke-19 hingga awal abad ke-20 oleh Amerika Serikat sebelum dilarangnya oleh USEPA dan Komisi Keamanan Produk Konsumen pada tahun 1978. Plaster dan cat adalah artefak yang tidak persisten yang bentuknya berlaminasi dan pipih. Gipsum dan serusit relatif dapat larut. Cat akan lapuk pada sekitar 24 tahun pada tanah yang *calcareous* (Howard, 2017).

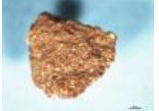






2.3.2 Mikroartefak




Mikroartefak ditemukan pada lapisan tanah dengan presentasi kurang dari 10% yang biasanya memiliki pengaruh terhadap tanahnya. Beberapa material antropogenik biasanya ditemukan dalam bentuk mikroartefak. Beberapa mikroartefak memiliki unsur jejak beracun dengan konsentrasi tinggi sehingga menyebabkan mikroartefak penting untuk menginterpretasi pengaruh material ini terhadap tanah. Adapun pengaplikasian mikroartefak pada sifat geofisika tanah merupakan salah satu langkah untuk pemetaan *urban soil* dan analisis geospasial kontaminasi logam berat. Mikroartefak dapat diidentifikasi menggunakan menggunakan mikroskop polarisasi untuk mengetahui partikel mikronya. (Howard, 2017).

Tabel 2.4 Karakteristik optik beberapa artefak (Howard, 2017)

Foto	Sampel	Warna	Kejernihan	Kilap	Pecahan	Tekstur	Bentuk
<i>Carbonaceous</i>							
	Kayu	Cokelat Terang hingga Gelap dan Hitam	Opak	<i>Earthy</i>	Berserabut	Berbutir	Pipih <i>Angular</i> dan Berserabut
	Arang	Hitam	Opak	Kaca Terang	Berserabut	Berbutir	Memblok <i>Angular</i> hingga Prismatik
	Batubara	Hitam	Opak	Kaca Terang	Bergerigi	Berbutir dan Berlapis Tipis	<i>Angular</i> hingga Memblok <i>Angular</i>
	Kokas	Hitam	Opak	Kaca	Bergerigi	Berbutir Vesikuler	Sangat Memblok <i>Angular</i>
	Beton Asfaltik	Hitam	Opak	<i>Earthy</i> hingga resin	Retas Halus	Polimiktik berbutir dan agregatik	<i>Subangular</i> hingga <i>Subrounded</i>
<i>Calcareous</i>							
	Beton <i>Lime</i>	Putih	Opak	<i>Earthy</i>	Retas Halus	Polimiktik berbutir dan agregatik	<i>Subangular</i> hingga <i>Subrounded</i>
	Batubata <i>Lime</i>	Putih Keabu-abuan	Opak	<i>Earthy</i>	Retas Halus	Polimiktik berbutir dan agregatik	<i>Subangular</i> hingga <i>Subrounded</i>

	Adukan Semen	Putih	Opak	<i>Earthy</i>	Retas Halus	Polimiktik berbutir dan agregatik	<i>Subangular</i> hingga <i>Subrounded</i>
	Batako	Putih Keabu-abuan hingga Abu-abu Kehitaman	Opak	<i>Earthy</i>	Bergerigi Retas	Polimiktik berbutir dan Vesikuler agregatik	Memblok <i>Angular</i>
<i>Carbonaceous</i>							
	Limbah Batubara	Hitam hingga Cokelat Muda	Opak hingga <i>semitranslucent</i>	Kaca Terang	Konkoidal hingga Bergerigi Retas	Vesikuler Berbutir	<i>Angular</i> hingga Memblok <i>Angular</i>
	Abu Batubara (Mikrosfer)	Abu-abu	<i>Translucent</i>	Kaca Terang	Tidak Ada	Berbutir	Membundar
	Abu Batubara (Aglomerat)	Abu-abu hingga Cokelat Keabu-abuan	<i>Semitranslucent</i>	Kaca	Tidak Ada	Agregatik Berbutir	Membundar hingga <i>Subangular</i>
	Sisa Pembakaran Serpih	Merah Muda hingga Merah Muda Kecokelatan	Opak	Kaca	Pipih	Retas Halus	<i>Subangular</i> hingga Sangat <i>Angular</i>
	Batubata Merah	Jingga Kecokelatan hingga	Opak	<i>Earthy</i>	Retas Halus	Agregat Polimiktik Berbutir	<i>Subrounded</i> hingga Memblok

		Cokelat Kemerahan					
	Batubata Jingga	Jingga Kecokelatan	Opak	<i>Earthy</i>	Retas Halus	Agregat Polimiktik Berbutir	<i>Subangular</i> hingga <i>Subrounded</i>
	Terakota	Jingga Kemerahan	Opak	<i>Earthy</i>	Retas Bergerigi	Agregat Polimiktik Berbutir	Sangat <i>Angular</i> hingga Memblok <i>Subangular</i>
	Keramik Berkaca	Cokelat Keau-abuan terang hingga Jingga Kecokelatan	Opak	<i>Earthy</i> hingga Kaca	Retas Halus	Agregat Polimiktik Berbutir	<i>Angular</i> hingga Memblok <i>Subrounded</i>
	Kaca	Transparan	Transparan	Kaca Terang	Konkoidal	Berbutir	Sangat Memblok <i>Angular</i>
	Terak Kaca	Hijau Muda Kehitaman	Opak hingga <i>Translucent</i>	Kaca Terang	Konkoidal	Berbutir	Sangat Memblok <i>Angular</i>
<i>Ferruginous</i>							
	Besi Hasil Tempa (Terkorosi)	Jingga hingga Cokelat Kehitaman	Opak	<i>Earthy</i>			
	Ampas bijih besi	Abu-abu Kehitaman	Opak	Resin hingga Logam Cerah	Retas Bergerigi	Vesikuler Berbutir	<i>Angular</i> hingga Memblok <i>Angular</i>

	Abu Batubara (Mikrosfer)	Cokelat, Merah dan Hitam	Opak	Logam	Tidak Ada	Berbutir	Membundar Sangat Baik
<i>Miscellaneous</i>							
	Tulang	Kuning Kecokelatan Terang hingga Cokelat Kekuningan	Opak	<i>Earthy</i>	Bergerigi hingga Retas Halus	Berbutir Berpori	<i>Angular</i> hingga Memblok <i>Angular</i> hingga Pipih
	Plester Bangunan	Putih	Opak	<i>Earthy</i>	Retas Halus	Vesikuler Berbutir	<i>Subrounded</i>

Selain dari karakteristik optiknya, artefak juga dapat diidentifikasi berdasarkan senyawa mayor oksidanya. Kehadiran senyawa mayor oksida pada artefak merupakan hal yang penting dikarenakan dapat memengaruhi tanah tempat terendapkannya artefak tersebut pada saat melapuk. Salah satu metode untuk mengidentifikasi senyawa mayor oksida yaitu metode *X-ray Fluorescence* (XRF). Beberapa penelitian telah menunjukkan hubungan yang kuat antara tanah dengan material antropogeniknya (Howard, 2017).

Tabel 2.5 Komposisi kimia penyusun jenis material antropogenik (Howard, 2017)

Jenis Material Antropogenik	Komposisi Kimia Penyusun
<i>Carbonaceous</i>	C
<i>Calcareous</i>	Ca, C, dan O
<i>Siliceous</i>	Si dan O
<i>Ferruginous</i>	Fe dan Al
<i>Miscellaneous</i>	S, P, dan O

2.4 Analisis Geokimia XRF

Spektrofotometri *X-ray Fluorescence* (XRF) adalah salah satu metode yang banyak digunakan untuk mengetahui komposisi geokimia batuan, sedimen, dan sampel material bumi (Kramar, 1997; Ling et al., 2017; Tolosana-Delgado & McKinley, 2016; Weltje & Tjallingii, 2008; Young, Evans, Hodges, Bleacher, & Graff, 2016 dalam Oyedotun, 2018). Beberapa tahun belakangan, spektrofotometri XRF digunakan untuk mendeterminasi konsentrasi geokimia dalam jangkauan unsur mayor dan jejak dalam satuan ppm (parts per million). Selain itu spektrofotometri juga berhasil digunakan untuk investigasi sampel geologi, arkeologi, dan industri (Jenkins, Gould, & Gedcke, 1995; Young et al., 2016 dalam Oyedotun, 2018). Satu alasan mengapa metode ini sangat luas digunakan karena kemampuannya untuk menganalisa sampel yang padat melalui radiasi X-ray

(Weltje & Tjallingii, 2008 dalam Oyedotun, 2018). Geokimia dari material padat bumi tergantung dari hasil pelapukan batuan induk, kondisi lingkungan iklim, dan kemungkinan interaksi antropogenik dengan material (Jalali and Jalali, 2016 dalam Oyedotun, 2018). Maka dari itu, kemampuan XRF untuk mendeterminasi oksida mayor atau komposisi unsur dari material-material bumi berguna untuk kegiatan laboratorium (Jenkins et al., 1995; Kramar, 1997; Young et al., 2016 dalam Oyedotun, 2018).

Komposisi unsur mayor material-material bumi dapat dianalisis menggunakan berbagai instrumen (Baedecker, 1987; Sabaou, Ait-Salem, & Zazoun, 2009 dalam Oyedotun, 2018). Bagaimanapun, spektrofotometri XRF adalah instrumen yang paling diutamakan karena kemampuan dalam menganalisa material yang sangat tinggi pada berbagai material bumi yang bervariasi (Lowemark dkk, 2011 dalam Oyedotun, 2018). Spektrofotometri XRF bergantung pada prinsip panjang gelombang dispersif yang berdasarkan pada atom-atom yang memancarkan kelimpahan relatif foton X-ray dari energi atau panjang gelombang yang dapat diestimasi (Weltje dan Tjallingii, 2008 dalam Oyedotun, 2018). Teknik ini telah diaplikasikan pada pengujian dari material-material bumi untuk penentuan lingkungan pembentukan (e.g., Chalmers & Bustin, 2017; Lowemark, Jakobsson, Morth, & Backman, 2008; Oyedotun, 2016; Ozkul, Ciftci, Tokel, & Savaş, 2017; Rivera, Giraldez, & Fernandez-Caliani, 2016; Sabaou et al., 2009 dalam Oyedotun, 2018). Penggunaan XRF yang meluas dikarenakan kemampuan analisisnya dengan presisi yang tinggi dan akurat sehingga menjadi metode alternatif dan dapat mendeteksi batas deteksi dari berbagai unsur pada satuan ppm (Taggart, Lindsay,

Scott, Bartel, dan Stewart, 1987; Weltje dan Tjallingii, 2008; Lowemark dkk, 2011 dalam Oyedotun, 2018).

Manfaat dari penggunaan XRF sangat banyak (Taggart dkk., 1987; Kramar, 1997; Weltje & Tjallingii, 2008 dalam Oyedotun, 2018). Adapun kemampuan XRF yaitu dapat menganalisa material besar dari unsur mayor, seperti Al, Mn, Ca, Na, K, P, Si, Mg, dll) yang dapat ditemukan pada bumi. Emisi X-ray berasosiasi dengan teknik XRF sangat sederhana, sistematis, tidak bergantung pada keadaan kimia, tetapi bergantung pada nomor atom. Interferensi pada garis radiasi X-ray dapat dengan mudah dikoreksi dengan akurasi yang tinggi. Selain itu XRF dalam analisis geokimia pada preparasi sampel sangat cepat dan sederhana (Oyedotun, 2018).