

**ANALISIS NILAI *SILIKA MODULUS (SM)* DAN *ALUMINA MODULUS (AM)*
PADA TANAH LIAT SEBAGAI BAHAN BAKU PEMBUATAN SEMEN DI PT.
SEMEN TONASA MENGGUNAKAN METODE *X-RAY FLUORESCENCE*
(XRF)**



**MUHAMMAD ALIF FASYA
H061 20 1064**

**DEPARTEMEN GEOFISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**



2024

**ANALISIS NILAI *SILIKA MODULUS (SM)* DAN *ALUMINA MODULUS (AM)*
PADA TANAH LIAT SEBAGAI BAHAN BAKU PEMBUATAN SEMEN DI PT.
SEMEN TONASA MENGGUNAKAN METODE *X-RAY FLUORESCENCE*
(XRF)**

**MUHAMMAD ALIF FASYA
H061 20 1064**



**DEPARTEMEN GEOFISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

**ANALISIS NILAI *SILIKA MODULUS (SM)* DAN *ALUMINA MODULUS (AM)*
PADA TANAH LIAT SEBAGAI BAHAN BAKU PEMBUATAN SEMEN DI PT.
SEMEN TONASA MENGGUNAKAN METODE *X-RAY FLUORESCENCE*
(XRF)**

MUHAMMAD ALIF FASYA
H061 20 1064

SKRIPSI

sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar sarjana

Program Studi Geofisika

pada

**DEPARTEMEN GEOFISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

SKRIPSI**ANALISIS NILAI SILIKA MODULUS (SM) DAN ALUMINA MODULUS (AM)
PADA TANAH LIAT SEBAGAI BAHAN BAKU PEMBUATAN SEMEN DI PT.
SEMEN TONASA MENGGUNAKAN METODE X-RAY FLUORESCENCE
(XRF)****MUHAMMAD ALIF FASYA****H061 20 1064**

Skripsi,

telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Sarjana Geofisika pada 19
November 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan
pada



Program Studi Geofisika
Departemen Geofisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Hasanuddin
Makassar

Mengesahkan:

Pembimbing Tugas Akhir,



Ir. Bambang Harimei Soeprpto, M.Si
NIP. 196105011991031003

Mengetahui:

Ketua Program Studi,



Dr. Muh. Alimuddin Hamzah, M.Eng
NIP. 196709291993031003

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa, skripsi berjudul "Analisis Nilai *Silika Modulus* (SM) dan *Alumina Modulus* (AM) Pada Tanah Liat Sebagai Bahan Baku Pembuatan Semen Di PT. Semen Tonasa Menggunakan Metode *X-Ray Fluorescence* (XRF)" adalah benar karya saya dengan arahan dari pembimbing Ir. Bambang Harimei Soeprpto, M.Si sebagai Pembimbing Utama. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka skripsi ini. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini adalah karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta (hak ekonomis) dari karya tulis saya berupa skripsi ini kepada Universitas Hasanuddin.

Makassar, 20 November 2024



Muhanimad Alif Fasya
H061201064

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian yang saya lakukan dapat terlaksana dengan sukses dan skripsi ini dapat terampungkan atas bimbingan, diskusi, dan arahan dari Bapak **Ir. Bambang Harimei Soeprpto, M.Si** sebagai dosen pembimbing, Ibu **Makhrani, S.Si, M.Si** dan Bapak **Sabrianto Aswad, S.Si, M.T** selaku dosen penguji dalam pelaksanaan seminar hasil dan sidang skripsi Geofisika. Saya mengucapkan terima kasih kepada Bapak **Dr. Muh. Alimuddin Hamzah, M.Eng.** selaku Ketua Departemen Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin. Terima kasih juga saya sampaikan kepada Bapak **Agus Firmanto** dan **Hasrul Aswar Zainuddin, S.T** selaku pembimbing lapangan yang senantiasa membimbing dalam melaksanakan aktivitas di tambang, pabrik, dan laboratorium serta kepada seluruh **Staf di Laboratorium Quality Control Tonasa Unit IV** atas kesempatannya untuk menggunakan fasilitas dan peralatan di laboratorium. Terima kasih juga saya sampaikan kepada seluruh **Dosen Departemen Geofisika, Staf Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,** dan **Staf Departemen Geofisika** atas segala ilmu yang telah diajarkan serta pelayanan dan bantuan yang telah diberikan kepada penulis selama menempuh pendidikan di Universitas Hasanuddin.

Ucapan terima kasih juga saya ucapkan kepada pimpinan Universitas Hasanuddin yang telah memfasilitasi saya menempuh gelar sarjana. Saya juga mengucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada orang tua terkasih Ibunda **Kasmawati** dan Ayahanda **Abd. Karim Aidil,** saudari **Amanda Mutiara Adelia,** dan keluarga besar **M. A. Zainal. T** atas segala dukungan material, do'a, dan kasih sayang tak terbatas yang senantiasa diberikan. Gelar sarjana ini saya persembahkan untuk kalian.

Kepada teman-teman **Geofisika 2020,** terima kasih karena telah berjuang bersama dari mahasiswa baru sampai meraih gelar sarjana. Saya juga mengucapkan terima kasih kepada teman-teman seperjuangan **Musawwir, Alghifari Ramadhan, Andi Muhammad Imran Ismail, Ainul Sya'ban, Ahmad Rianul Qauliah,** dan **Saiful Rahman Armin** yang telah kebersamai dan menjadi tempat bertukar pikiran. Begitupun kepada teman seperjuangan dari bangku SMA hingga kuliah **Selfiana S.Si** yang telah menjadi teman dikusi dan motivator dalam menyelesaikan skripsi. Terima kasih juga saya ucapkan untuk teman-teman **Tonasa Squad** dan **Mr. Bams Squad** atas bantuan dan dukungannya selama penelitian dan penyusunan skripsi ini berlangsung.

Kepada **Armus S.M,** selaku sahabat saya, terima kasih karena telah kebersamai dalam menjalankan kehidupan saya dari kecil hingga sekarang. Terima kasih juga saya ucapkan untuk **Harlines Destari Bato S.Pd** dan **Jimmy Rupiase** selaku sahabat saya yang selalu memberikan semangat dalam hal apapun. Kepada teman-teman **EXACTWO20 Sektor Makassar** (Sri Mulyani, Rian Reski Widodo, Erna Sari, Winni Annisa, Leni Arwulan, Nusri Mahendra, dan Yogi Anang Budiman) yang telah memberikan dukungan kepada penulis selama masa perkuliahan. Tidak lupa juga saya ucapkan terima kasih kepada teman-teman **KKNT Perhutanan Sosial Bone Posko 6 Desa Usa** dan **Staf Desa Usa** atas cerita-cerita menyenangkan yang saya lalui bersama kalian selama menjalankan KKN.

Last but not least, untuk diri saya sendiri **Muhammad Alif Fasya**, terima kasih telah bertanggung jawab menyelesaikan apa yang telah dimulai. Terima kasih sudah kuat dan bertahan hingga sejauh ini melewati proses demi proses yang tidak mudah.

Penulis,

Muhammad Alif Fasya
H061201064

ABSTRAK

Muhammad Alif Fasya. **Analisis Nilai Silika Modulus (SM) dan Alumina Modulus (AM) Pada Tanah Liat Sebagai Bahan Baku Pembuatan Semen Di PT. Semen Tonasa Menggunakan Metode X-Ray Fluorescence (XRF)** (dibimbing oleh Ir. Bambang Harimei Soeprapto, M. Si).

Latar belakang. Semen merupakan salah satu bahan hasil industri yang menggunakan tanah liat sebagai salah satu bahan baku utama. Tanah liat yang digunakan harus memenuhi standar nilai *Silika Modulus (SM)* dan *Alumina Modulus (AM)* yang ditetapkan perusahaan. **Tujuan.** Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kandungan tanah liat dan sebaran nilai *Silika Modulus (SM)* dan *Alumina Modulus (AM)* pada tanah liat area penelitian. **Metode.** Penelitian ini menggunakan metode *X-Ray Fluorescence (XRF)* untuk mengetahui kandungan senyawa oksida pada tanah liat sebagai salah satu bahan baku pembuatan semen. **Hasil.** Berdasarkan analisis uji XRF kandungan tanah liat pada area penelitian didominasi oleh beberapa senyawa oksida seperti SiO_2 (Silika Oksida) berkisar 62.21 – 80.19%, Al_2O_3 (Alumina Oksida) berkisar 9.83 – 17.63%, dan Fe_2O_3 (Besi Oksida) berkisar 3.89 – 7.72%. Sedangkan senyawa oksida lainnya hadir dalam jumlah kecil seperti CaO (Kalsium Oksida) berkisar 0.28 – 4.85%, MgO (Magnesium Oksida) berkisar 0.18 – 6.15%, K_2O (Kalium Oksida) berkisar 0.15 – 2.97%, dan SO_3 (Sulfur Oksida) berkisar 0.06 – 0.76%. Berdasarkan hasil analisis nilai *Silika Modulus (SM)* dan *Alumina Modulus (AM)*, sebaran nilai *Silika Modulus (SM)* pada area penelitian semakin ke tenggara nilai *Silika Modulus (SM)* semakin tinggi. Nilai *Silika Modulus (SM)* area penelitian masuk dalam kategori sesuai standar hingga tinggi. Area dengan nilai *Silika Modulus (SM)* sesuai standar hingga tinggi ($2.0 < \text{SM} < 2.6$) terdapat pada utara area penelitian di lokasi IUP Paccola dengan nilai 2.45 – 3.10. Area dengan nilai *Silika Modulus (SM)* tinggi ($\text{SM} > 2.6$) terdapat pada utara hingga selatan area penelitian dengan nilai 3.10 – 6.36. Sedangkan sebaran nilai *Alumina Modulus (AM)* pada area penelitian semakin ke tenggara nilai *Alumina Modulus (AM)* semakin tinggi. Nilai *Alumina Modulus (AM)* area penelitian masuk dalam kategori sesuai standar. Area dengan nilai *Alumina Modulus (AM)* sesuai standar ($1.5 < \text{AM} < 2.5$) terdapat pada seluruh area penelitian dengan nilai 1.64 – 2.40.

Kata Kunci: Tanah Liat, Silika Modulus, Alumina Modulus, XRF, Semen

ABSTRACT

Muhammad Alif Fasya. **Analysis of Silica Modulus (SM) and Alumina Modulus (AM) Values in Clay as Raw Material for Cement Production at PT. Semen Tonasa Using X-Ray Fluorescence (XRF) Method** (Supervised by Ir. Bambang Harimeji Soeprapto, M. Si).

Background Cement is one of the industrial materials that uses clay as one of its main raw materials. The clay used must meet the standards of Silica Modulus (SM) and Alumina Modulus (AM) values set by the company. **Objective** This research aims to determine the clay content and the distribution of Silica Modulus (SM) and Alumina Modulus (AM) values in the clay of the research area. **Method** This study employs the X-Ray Fluorescence (XRF) method to analyze the oxide compound content in the clay as one of the raw materials for cement production. **Results** Based on the XRF test analysis, the clay content in the research area is dominated by several oxide compounds such as SiO_2 (Silica Oxide) ranging from 62.21% to 80.19%, Al_2O_3 (Alumina Oxide) ranging from 9.83% to 17.63%, and Fe_2O_3 (Iron Oxide) ranging from 3.89% to 7.72%. Other oxide compounds are present in smaller amounts, such as CaO (Calcium Oxide) ranging from 0.28% to 4.85%, MgO (Magnesium Oxide) ranging from 0.18% to 6.15%, K_2O (Potassium Oxide) ranging from 0.15% to 2.97%, and SO_3 (Sulfur Oxide) ranging from 0.06% to 0.76%. Based on the analysis of the Silica Modulus (SM) and Alumina Modulus (AM) values, the distribution of the Silica Modulus (SM) in the study area shows that the further southeast, the higher the SM values. The SM values in the study area fall within the standard to high categories. Areas with SM values within the standard to high range ($2.0 < \text{SM} < 2.6$) are located in the northern part of the study area, specifically in the IUP Paccola area, with values ranging from 2.45 to 3.10. Areas with high SM values ($\text{SM} > 2.6$) are distributed from the northern to the southern part of the study area, with values ranging from 3.10 to 6.36. Meanwhile, the distribution of the Alumina Modulus (AM) in the study area also shows an increasing trend towards the southeast. The AM values in the study area fall within the standard category. Areas with standard AM values ($1.5 < \text{AM} < 2.5$) are spread throughout the study area, with values ranging from 1.64 to 2.40.

Keywords : Clay, Silica Modulus, Alumina Modulus, X-Ray Fluorescence, Cement

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PENGAJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	v
UCAPAN TERIMA KASIH	vii
ABSTRAK.....	ix
ABSTRACT	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan dan Manfaat	2
1.3 Landasan Teori.....	2
1.3.1 Geologi Regional	2
1.3.2 Tanah.....	4
1.3.3 Tanah Liat	8
1.3.4 Semen	11
1.3.5 <i>Silika Modulus (SM) dan Alumina Modulus (AM)</i>	13
1.3.6 <i>X-Ray Fluorescence (XRF)</i>	13
1.3.7 <i>Inverse Distance Weighting (IDW)</i>	16
BAB II METODOLOGI PENELITIAN	18
2.1 Lokasi Penelitian	18
2.2 Alat dan Bahan.....	19
2.2.1 Alat	19
2.2.2 Bahan	19
2.3 Tahapan Penelitian.....	19
2.3.1 Tahap Persiapan	19
2.3.2 Tahap Pengambilan Sampel	19
2.3.3 Tahap Preparasi Sampel	19
2.4 Bagan Alir.....	21

BAB III HASIL PENELITIAN	22
3.1 Hasil Uji <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF).....	22
3.2 Hasil Nilai <i>Silika Modulus</i> (SM) dan <i>Alumina Modulus</i> (AM)	24
BAB IV PEMBAHASAN	28
4.1 Analisis Kandungan Tanah Liat.....	28
4.2 Analisis Nilai <i>Silika Modulus</i> (SM) dan <i>Alumina Modulus</i> (AM).....	29
BAB V KESIMPULAN	30
DAFTAR PUSTAKA.....	31
LAMPIRAN	33

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Klasifikasi Energi <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF)	15
Tabel 2. Hasil Uji XRF	22
Tabel 3. Klasifikasi Nilai <i>Silika Modulus</i> (SM) PT. Semen Tonasa	24
Tabel 4. Klasifikasi Nilai <i>Alumina Modulus</i> (AM) PT. Semen Tonasa	25
Tabel 5. Klasifikasi Nilai <i>Silika Modulus</i> (SM) Area Penelitian	25
Tabel 6. Klasifikasi Nilai <i>Alumina Modulus</i> (AM) Area Penelitian	26

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Peta Geologi Kabupaten Pangkajene dan Kepulauan (Sukamto dan Supriatna,1982).	3
Gambar 2. <i>Thermo Scientific X-Ray</i> (Dokumentasi Penulis)	14
Gambar 3. Proses Terjadinya Sinar-X (Anderson, 2021).....	14
Gambar 4. Difraksi Sinar X (Harifan, dkk., 2015).....	15
Gambar 5. Peta Lokasi Penelitian	18
Gambar 6. Bagan Alir	21
Gambar 7. Peta Sebaran Kandungan SiO_2	23
Gambar 8. Peta Sebaran Kandungan Al_2O_3	23
Gambar 9. Peta Sebaran Kandungan Fe_2O_3	24
Gambar 10. Peta Sebaran Kandungan Nilai <i>Silika Modulus</i> (SM).....	25
Gambar 11. Peta Sebaran Kandungan Nilai <i>Alumina Modulus</i> (AM)	26

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil Preparasi Sampel	33
Lampiran 2. Hasil Uji XRF	37
Lampiran 3. Dokumentasi	38

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia adalah negara yang memiliki banyak sekali sumber daya alam yang melimpah, baik dalam sumber daya alam yang dapat diperbaharui maupun sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui seperti mineral, batu bara, dan tanah liat. Tanah liat adalah tanah hasil pelapukan batuan keras, seperti: basalt (batuan dasar), andesit, dan granit (batu besi). Tanah liat atau lempung disebut juga batuan sedimen (endapan) karena pada umumnya setelah terbentuk dari batuan keras. Lempung terangkat oleh air atau angin dan diendapkan di suatu tempat yang lebih rendah (Hastutiningrum, 2013).

Tanah liat memiliki sifat-sifat yang khas yaitu bila dalam keadaan basah akan mempunyai sifat plastis tetapi bila dalam keadaan kering akan menjadi keras, sedangkan bila dibakar akan menjadi padat dan kuat. Biasanya masyarakat, memanfaatkan tanah liat atau lempung ini sebagai bahan baku pembuatan keramik, bata, gerabah dan semen. Pada umumnya, tanah liat mengandung unsur senyawa silika, namun dengan kadar silika yang berbeda-beda disetiap tanah dan setiap lokasi. Silika yang terdapat dalam tanah liat umumnya dapat digunakan sebagai bahan pengisi karet (*rubber filler*) dan bahan pembuatan semen.

Industri semen merupakan salah satu industri terbesar di Indonesia. Semen merupakan bahan utama yang diperlukan dalam membangun infrastruktur bangunan, jalan, dan pelabuhan. Dengan kebutuhan untuk pembangunan infrastruktur tersebut dan luas wilayah Indonesia yang besar mendorong kebutuhan atas semen semakin meningkat setiap tahunnya. Proses pengendalian kualitas tentunya juga dilakukan oleh industri semen sehingga produk yang didapatkan berkualitas dan sesuai dengan standar yang digunakan oleh perusahaan. Baiknya kualitas semen tentu sangat dipengaruhi oleh bahan baku produksinya.

PT. Semen Tonasa merupakan produsen semen terbesar di kawasan timur Indonesia yang menempati lahan seluas 715 hektar di Desa Biring Ere, Kecamatan Bungoro, Kabupaten Pangkajene dan Kepulauan. Perseroan yang memiliki kapasitas terpasang 5.980.000 ton semen per tahun. Bahan baku utama yang digunakan oleh perusahaan ini untuk pembuatan semen adalah tanah liat dan batu kapur. Batu kapur yang dipilih adalah batu kapur dengan kandungan CaCO_3 yang tergolong tinggi yaitu 97-99%. Sedangkan, tanah liat memiliki komponen terbesar SiO_2 dan Al_2O_3 . Umumnya, tanah liat memiliki senyawa alumina silika dengan kadar H_2O maksimal 25% dan kadar Al_2O_3 minimal 14% (Said, dkk., 2018). Tanah liat berfungsi sebagai sumber oksida silika, alumina dan besi. Pembuatan semen membutuhkan 2 komponen pada material tanah liat, yakni Alumina (Al_2O_3) berfungsi untuk memudahkan semen untuk bercampur dengan air, serta Silika (SiO_2) berfungsi untuk memperkokoh struktur semen (Nugraha, dkk., 2023).

Tingkat kelayakan tanah liat yang digunakan sebagai bahan baku pembuatan semen pada PT. Semen Tonasa, dapat dilihat dari nilai *Silika Modulus* (SM) dan *Alumina*

Modulus (AM). Nilai *Silika Modulus (SM)* dan *Alumina Modulus (AM)* yang ditentukan oleh perusahaan yaitu 2,0-2,6 untuk SM, sedangkan 1,5-2,5 untuk AM (Said, dkk., 2018).

Pada penelitian sebelumnya oleh Yanti dan Muhktar (2015) mengenai "Karakterisasi Lempung Alam Desa Gema Teraktifasi Fisika" menggunakan metode *X-Ray Fluorescence (XRF)*. Hasil penelitian menunjukkan kandungan tanah liat adalah SiO₂ 65,69%, Al₂O₃ 24,62%, K₂O 4,01%, Fe₂O₃ 2,62%, CaO 0,34%, dan ZnO 0,02% serta komponen oksida lainnya seperti: TiO₂, SO₃, Cr₂O₃, Cl, NiO, CuO, PbO. Setiap lokasi memiliki kandungan tanah liat yang berbeda-beda tergantung dari batuan induk dan lingkungan pengendapannya. Oleh karena itu, penelitian difokuskan mengetahui kandungan tanah liat untuk menentukan nilai *Silika Modulus (SM)* dan *Alumina Modulus (AM)* menggunakan metode *X-Ray Fluorescence (XRF)* pada tanah liat sebagai bahan baku semen di PT. Semen Tonasa, Kabupaten Pangkajene dan Kepulauan, Provinsi Sulawesi Selatan.

1.2 Tujuan dan Manfaat

1.2.1 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini, yaitu:

1. Mengetahui kandungan tanah liat pada area penelitian
2. Mengetahui sebaran nilai *Silika Modulus (SM)* dan *Alumina Modulus (AM)* pada area penelitian

1.2.2 Manfaat

Penelitian ini memberikan manfaat baik dalam konteks ilmiah maupun praktis. Informasi yang didapatkan tidak hanya mendukung identifikasi kandungan dan nilai *Silika Modulus (SM)* dan *Alumina Modulus (AM)* pada tanah liat tetapi juga membantu dalam pengembangan dan pengendalian kualitas bahan baku semen yang lebih baik.

1.3 Landasan Teori

1.3.1 Geologi Regional

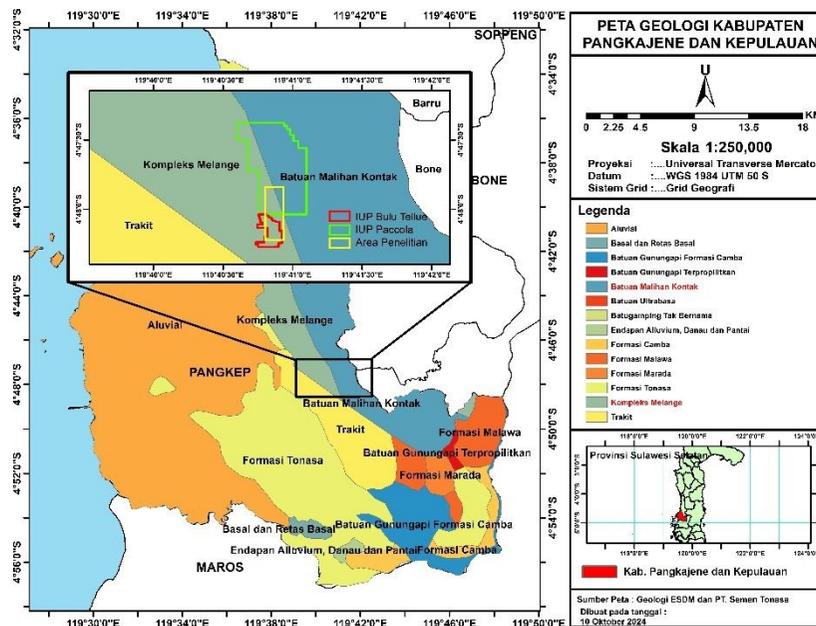
Secara Geologi Sulawesi dan sekitarnya merupakan daerah yang kompleks karena merupakan tempat pertemuan tiga lempeng besar yaitu: lempeng Indo-Australia yang bergerak ke arah utara, lempeng Pasifik yang bergerak ke arah barat dan lempeng Eurasia yang bergerak ke arah selatan-tenggara serta lempeng yang lebih kecil yaitu lempeng Filipina (Sompotan, 2012). Daerah penelitian termasuk dalam Peta Geologi Lembar Pangkajene dan Watampone Bagian Barat, yang diterbitkan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Bandung.

Pada Peta Geologi Lembar Pangkajene dan Watampone bagian Barat, morfologi pada lembar ini terdapat dua baris pegunungan yang memanjang hampir sejajar pada arah utara-barat laut dan terpisahkan oleh lembah Sungai Walanae. Pegunungan yang barat menempati hampir setengah luas daerah, melebar di bagian selatan (50 km) dan menyempit di bagian utara (22 km). Puncak tertingginya 1694 m, sedangkan ketinggian rata-ratanya 1500 m. Pembentuknya sebagian besar batuan gunungapi. Di lereng barat dan di beberapa tempat di lereng timur terdapat topografi karst, pencerminan adanya batugamping. Di antara topografi karst di lereng barat terdapat daerah perbukitan yang

dibentuk oleh batuan Pra-Tersier. Pegunungan ini di barat daya dibatasi oleh dataran Pangkajene-Maros yang luas sebagai lanjutan dari dataran di selatannya

Pegunungan yang di timur relatif lebih sempit dan lebih rendah, dengan puncaknya rata-rata setinggi 700 m, dan yang tertinggi 787 m. Juga pegunungan ini sebagian besar berbatuan gunungapi. Bagian selatannya selebar 20 km dan lebih tinggi, tetapi ke utara menyempit dan merendah, dan akhirnya menunjam ke bawah batas antara Lembah Walanae dan dataran Bone. Bagian utarapegunungan ini bertopografi karst yang permukaannya sebagian berkerucut. Batasnya di timurlaut adalah dataran Bone yang sangat luas, yang menempati hampir sepertiga bagian timur.

Lembah Walanae yang memisahkan kedua pegunungan tersebut di bagian utara selebar 35 Km. tetapi di bagian selatan hanya 10 km. Di tengah terdapat Sungai Walanae yang mengalir ke utara Bagian selatan berupa perbukitan rendah dan di bagian utara terdapat dataran aluvium yang sangat luas mengelilingi Danau Tempe.



Gambar 1. Peta Geologi Kabupaten Pangkajene dan Kepulauan (Sukamto dan Supriatna, 1982).

Berdasarkan Gambar 1 secara stratigrafi, formasi batuan wilayah Pangkajene dan sekitarnya dari yang tertua hingga termuda adalah: Batuan Malihan, Kompleks Melange, Batuan Vulkanik Terpropilit, Formasi Malawa, Formasi Tonasa, dan Batuan Intrusi Diorit.

Batuan malihan sebagian besar terdiri dari sekis dan sedikit gen, mengandung mineral glaukofan, garnet, epidote, mika, dan klorit. Batuan malihan ini umumnya berpendaunan miring ke arah timur laut, sebagian terbreksikan, dan tersesarkan naik ke

arah barat daya. Satuan ini tebalnya tidak kurang dari 2000 m dan bersentuhan sesar dengan satuan batuan di sekitarnya. Satuan batuan ini diperkirakan berumur Trias

Kompleks Melange terdiri dari batuan campuran tektonik grewake, breksi, konglomerat, batupasir terkarsikan, rijang radiolaria merah, batu sabak, sekis, ultramafik, basal, diorit dan lempung, himpunan batuan ini mendaun, kebanyakan miring ke arah timur laut dan tersesarkan naik ke arah barat daya. Satuan ini tebalnya tidak kurang dari 1750 m, dan mempunyai sentuhan sesar dengan satuan batuan di sekitarnya. Kompleks ini diperkirakan berumur Jura.

Formasi Malawa terdiri dari batupasir, konglomerat, batu lanau, batu lempung, dan napal, dengan sisipan lapisan atau lensa batu bara dan batu lempung. Batu pasirnya sebagian besar batu pasir kuarsa, ada pula yang arkosa, grewake, dan tufaan, umumnya berwarna kelabu muda dan coklat muda, pada umumnya bersifat rapuh, kurang padat, konglomeratnya sebagian kompak, batu lempung, batu gamping dan napal umumnya mengandung moluska yang belum diperiksa, dan berwarna kelabu muda sampai kelabu tua, batubara berupa lensa setebal beberapa sentimeter dan berupa lapisan sampai 1,5 m. Batuan formasi ini terdapat fosil *Ostrakoda*, berdasarkan fosil tersebut diperkirakan umur formasi ini berumur Eosen. Tebal formasi ini tidak kurang dari 400 m, tertindih selaras oleh batugamping, dan menindih tak selaras batuan sedimen dan batuan gunungapi.

Formasi tonasa terdiri dari dari batu gamping koral pejal sebagian terhablurkan, berwarna putih dan kelabu muda. Batu gamping bioklastika dan kalkarenit, berwarna putih coklat muda dan kelabu muda sebagian berlapis baik, berselingan dengan napal globigerina tufaan, bagian bawahnya mengandung batu gamping berbitumen, setempat bersisipan breksi batu gamping dan batu gamping pasiran, di dekat Malawa daerah Camba terdapat batu gamping yang mengandung glaukonit, dan di beberapa tempat di daerah Ralla ditemukan batu gamping yang mengandung banyak serpihan sekis dan batuan ultramafic, batu gamping berlapis sebagian mengandung banyak foraminifera besar, napalnya banyak mengandung foraminifera kecil dan beberapa lapisan napal pasiran mengandung banyak kerang (*pelecypoda*) dan siput (*gastropoda*) besar. Batuan formasi ini terdapat fosil *Opercuna sp.*, *Amphistegina sp.* dan *Cycloclypeus sp.* Gabungan fosil ini menunjukkan kisaran umur formasi ini dari Eosen Awal sampai Miosen Tengah. Tebal formasi ini diperkirakan tidak kurang dari 3000 m, menindih selaras batuan Formasi Malawa, dan tertindih tak selaras batuan Formasi Camba, diterobos oleh sill, retas, dan stok batuan beku yang bersusunan basal, trakit, dan diorite (Sukanto dan Supriatna, 1982).

1.3.2 Tanah

Tanah adalah suatu benda alam yang terdapat dipermukaan kulit bumi, yang tersusun dari bahan-bahan mineral sebagai hasil pelapukan batuan, dan bahan-bahan organik. Bahan organik merupakan hasil pelapukan sisa-sisa tumbuhan dan hewan. Tanah merupakan medium atau tempat tumbuhnya tanaman dengan sifat-sifat tertentu, yang terjadi akibat dari pengaruh kombinasi faktor-faktor iklim, bahan induk, jasad hidup, bentuk wilayah dan lamanya waktu pembentukan (Asril, dkk., 2022).

Tanah adalah kombinasi mineral dan unsur organik yang berbentuk padat, gas, dan berair. Tanah terdiri dari lapisan partikel yang berbeda dari bahan aslinya dalam sifat fisik, mineralogi, dan kimia, karena interaksi antara atmosfer dan hidrosfer atau sebab lainnya. Partikel tanah terbentuk dari batuan yang pecah yang telah berubah karena efek kimia dan lingkungan, termasuk cuaca dan erosi. Partikel tanah tersusun secara longgar, menciptakan formasi tanah yang terdiri dari ruang pori (Darwis, 2018).

Secara umum, tanah terbentuk oleh pelapukan batuan. Sifat fisik tanah terjadi dan terbentuk terutama oleh mineral yang membentuk partikel tanah dan oleh karenanya, batuan yang terbentuk sesuai dengan material pembentuknya. Proses pelapukan mengubah massa batuan padat menjadi fragmen yang lebih kecil dengan berbagai ukuran yang dapat berkisar dari batu-batu besar hingga partikel tanah liat yang sangat kecil. Pemisahan agregat dari biji-bijian kecil ini dalam berbagai proporsi membentuk berbagai jenis tanah.

Pelapukan merupakan proses alterasi dan fraksinasi batuan dan material tanah pada dan/atau dekat permukaan bumi yang disebabkan karena proses fisik, kimia dan biologi. Proses pelapukan akan menghancurkan batuan atau bahkan melarutkan sebagian dari mineral untuk kemudian menjadi tanah atau diangkut dan diendapkan sebagai batuan sedimen klastik. Komposisi tanah tidak hanya tergantung pada batuan induk (asal) nya, tetapi juga dipengaruhi oleh alam, intensitas, dan lama (*duration*) pelapukan dan proses jenis pembentukan tanah itu sendiri.

1. Pelapukan Mekanis (Fisik)

Pelapukan Mekanis merupakan pelapukan yang disebabkan oleh proses fisika. Proses penghancuran fisik adalah proses pelapukan tanah akibat dari faktor fisika dengan penyebab atau faktor utama adalah gravitasi, angin, batuan yang bergulir dan air yang mengalir yang kesemuanya berpengaruh terhadap batuan. Hal-hal tersebut bertanggung jawab terhadap terjadinya rekahan dan retakan pada batuan yang menyebabkan pecahnya batuan dan menyebabkan terjadinya endapan. Pelapukan lebih lanjut dari fragmen-fragmen batuan dan endapan ini utamanya diakibatkan oleh abrasi, yaitu penggerusan batuan akibat gesekan dan benturan pada saat fragmen batuan ini ditransportasikan di dalam sungai dan aliran air, dibawah dan diseperti es glasial, dan perpindahan pasir oleh angin.

2. Pelapukan Kimiawi

Pelapukan kimiawi merupakan pelapukan yang menghancurkan masa batuan yang disertai perubahan struktur kimiawinya. Pelapukan kimiawi terjadi ketika batuan bereaksi dengan bahan kimia dalam larutan, pada dasarnya menguraikan batuan asli dan tanah menjadi mineral baru melalui reaksi kimia. Air dan karbon dioksida dari atmosfer membentuk asam karbonat, yang bereaksi dengan mineral batuan yang ada untuk membentuk mineral baru dan garam terlarut. Pelapukan kimiawi tampak jelas terjadi pada pegunungan kapur (karst). Pelapukan ini berlangsung dengan batuan air dan suhu yang tinggi.

3. Pelapukan biologi

Pelapukan biologi atau pelapukan organik adalah pelapukan yang disebabkan oleh makhluk hidup. Pelapukan biologis disebabkan oleh makhluk hidup yang memecah batu baik secara fisik maupun kimia. Makhluk hidup penyebab pelapukan ini mencakup berbagai macam organisme dari bakteri hingga tanaman dan hewan. Misalnya, lumut memainkan peran penting dalam pelapukan karena mereka kaya akan agen chelating, yang menangkap unsur-unsur logam dari batuan yang lapuk. Beberapa lumut hidup di permukaan batu (*epilithic*), beberapa aktif hingga menembus permukaan batuan atau dalam batuan (*endolithic*) dan yang lain hidup di cekungan dan retakan di batu (*chasmolithic*) (Mulyono, 2017).

A. Faktor-Faktor pembentukan tanah

Secara garis besar faktor yang memengaruhi pembentukan tanah yaitu batuan induk, iklim, topografi, vegetasi, dan waktu. Kelima faktor pembentuk tanah tidak bekerja sendiri-sendiri, batuan induk harus diolah oleh iklim dan jasad hidup (organisme) tidak dapat dipisahkan dari letak tempatnya di suatu permukaan bumi tertentu.

1. Batuan induk

Bahan induk tanah terdiri atas batuan vulkanik, batuan beku, batuan sedimen, dan batuan metamorf. Batuan induk akan hancur menjadi bahan induk. Kemudian batuan tersebut akan mengalami pelapukan, dan menjadi tanah. Tanah yang terdapat di permukaan bumi sebagian besar akan memperlihatkan sifat yang sama dengan bahan induknya.

Batuan induk merupakan faktor pembentuk tanah yang mempunyai pengaruh nyata dalam pembentukan tanah, misalnya pada suatu daerah yang beriklim sama dan bentuk wilayah yang sama, maka perbedaan jenis tanah terutama terjadi karena perbedaan dalam jenis bahan induknya, dengan demikian batuan induk merupakan faktor pengubah bebas dalam pembentukan tanah. Susunan kimia dan mineral bahan induk tidak hanya memengaruhi intensitas pelapukan tetapi juga menentukan jenis vegetasi alami yang tumbuh di atasnya

2. Iklim

Iklim merupakan salah satu faktor yang penting dalam proses pembentukan tanah. Suhu dan curah hujan sangat memengaruhi reaksi kimia dan fisika dalam tanah, setiap suhu naik 10 °C maka kecepatan reaksi menjadi lebih cepat. Curah hujan dan suhu tinggi di daerah tropika menyebabkan reaksi kimia berjalan cepat sehingga proses pelapukan dan pencucian berjalan cepat, hal ini menyebabkan banyak tanah di Indonesia yang mengalami pelapukan lanjut, rendah kadar unsur hara dan masam. Komponen iklim juga memengaruhi tipe mineral, di mana pelapukan yang intensif dapat menghilangkan ikatan Si yang besar dari top soil dan akhirnya fraksi lempung yang mendominasi adalah oksida Fe dan Al.

3. Organisme

Organisme yang memengaruhi pembentukan tanah mikrobial tanah, vegetasi, dan manusia. Pengaruh vegetasi terhadap pembentukan tanah sangat penting. Kandungan unsur-unsur kimia yang terdapat pada tanaman akan memengaruhi sifat-sifat tanah. Jenis tanaman yang memiliki daun berdaun lebar menghasilkan tanah yang mengandung basa-basa yang tinggi dan memiliki siklus unsur hara yang tinggi jika dibandingkan dengan tanaman yang berdaun sempit.

Organisme dalam tanah memengaruhi proses pelapukan organik, pembentukan humus dari sisa-sisa organisme yang membusuk, dan jenis vegetasi yang memengaruhi sifat-sifat tanah. Hal itu terjadi karena, kandungan unsur-unsur kimia yang terdapat pada tanaman berpengaruh terhadap pembentukan karakteristik tanah. Contoh, jenis cemara akan memberi unsur-unsur kimia seperti Ca, Mg, dan K yang relatif rendah, akibatnya tanah di bawah pohon cemara memiliki derajat keasaman yang lebih tinggi.

4. Topografi

Topografi merupakan perbedaan tinggi atau bentuk wilayah suatu daerah. Bentuk wilayah dikenal wilayah datar, berombak, bergelombang, berbukit, dan bergunung. Perbedaan dalam bentuk wilayah disuatu daerah menyebabkan perbedaan dalam gerak air tanah bebas dan jenis-jenis yang tumbuh di permukaan tanah. Keadaan relief suatu daerah akan memengaruhi tebal atau tipisnya lapisan tanah. Misalnya, pada daerah yang memiliki topografi miring dan berbukit, maka lapisan tanahnya lebih tipis karena tererosi.

Sifat tanah yang berhubungan dengan topografi adalah solum, tebal dan kandungan bahan organik horizon A, kandungan air tanah (*relative wetness*), warna tanah, tingkat perkembangan horizon, reaksi tanah (pH), kejenuhan basa, dan kandungan garam yang mudah larut serta sifat lainnya.

Faktor yang memengaruhi topografi terhadap proses pembentukan tanah:

- a. Pergerakan air dan bahan terlarut dari suatu tempat ke tempat lain, baik melalui drainase maupun erosi ditentukan oleh bentuk wilayah.
- b. Di tempat datar, kecepatan pengaliran air lebih kecil dari pada tempat yang bergelombang, sedang bentuk wilayah yang sangat miring mempergiat berbagai erosi air, sehingga membatasi dalamnya solum
- c. Sebaliknya genangan air disuatu daerah cekungan, pengendapan relatif menghambat pengaruh gerakan air bebas dalam perkembangan tanah yang teratur dan terbentuk tanah-tanah yang berwarna hitam yang banyak mengandung unsur C ialah tanah gambut/ organosol.

5. Waktu

Tanah merupakan benda alam yang terus-menerus berubah sehingga menyebabkan tanah semakin tua dan semakin kurus. Periode pembentukan tanah akan menentukan jenis dan sifat tanah yang terbentuk. Proses pembentukan tanah yang terus berjalan, maka bahan induk tanah berubah berturut-turut menjadi tanah muda, tanah dewasa dan tanah tua. Waktu berpengaruh dalam proses pembentukan tanah karena semakin lama

pelapukan tanah maka kandungan yang di dalamnya akan semakin tua dan kurus. Hal ini disebabkan karena mineral yang banyak mengandung unsur hara telah habis mengalami pelapukan, dan erosi. Sehingga yang tersisa adalah mineral yang sulit lapuk, seperti batu-batu keras (Asril, dkk., 2022).

1.3.3 Tanah Liat

Tanah liat adalah sejenis tanah yang terdiri dari partikel-partikel sangat kecil dalam skala mikroskopis. Ciri khas dari tanah liat mencakup ketahanannya terhadap erosi, serta kekuatan struktural yang baik. Tanah liat atau lempung dari dahulu sudah digunakan oleh sebagian masyarakat Indonesia sebagai bahan baku pembuatan benda-benda keramik. Benda keramik tersebut adalah berupa bata, periuk, tungku, jambangan, gentong hingga genteng. Kegunaannya sangat menguntungkan bagi manusia karena bahannya yang mudah didapat dan pemakaiannya yang sangat luas. Kira-kira 70 % atau 80 % dari kulit bumi terdiri dari batuan yang merupakan sumber tanah liat (Nugroho, dkk., 2024).

Tanah yang dikategorikan sebagai tanah liat (*clay*) memiliki komposisi partikel yang didominasi oleh partikel liat, dengan persentase tertentu untuk pasir, lanau, dan liat. Berdasarkan klasifikasi tekstur tanah menurut Sistem USDA (*United States Department of Agriculture*), tanah liat umumnya memiliki komposisi sebagai berikut: Pasir (*sand*): kurang dari 45%, Lanau (*silt*): kurang dari 40%, dan Liat (*clay*): lebih dari 40%. Secara umum, tanah liat mengandung setidaknya 40% partikel liat, sedangkan sisanya merupakan campuran pasir dan lanau dalam jumlah lebih kecil, bergantung pada jenis spesifik tanah liat tersebut. Sifat-sifat fisik tanah, seperti tekstur, kepadatan, dan plastisitas, dipengaruhi oleh komposisi ini, di mana kandungan liat yang tinggi memberikan karakteristik lengket dan plastis pada tanah. Material tanah liat mempunyai daya serap yang baik terhadap perubahan kadar kelembapan karena tanah liat mempunyai luas permukaan yang sangat besar. Salah satu sifat khas tanah liat adalah kemampuan pertukaran ionnya. Sifat tanah liat ini berperan untuk menyerap anion dan kation tertentu serta kapasitasnya untuk mempertahankannya dalam keadaan dapat ditukar. Dengan kata lain, ion-ion yang teradsorpsi ditukar dengan anion dan kation lain dalam larutan berair, meskipun reaksi pertukaran tersebut juga dapat terjadi di lingkungan non-air. Ion-ion yang dapat ditukar ditahan di sekitar bagian luar unit struktural mineral lempung silika-alumina, dan reaksi pertukaran umumnya tidak mempengaruhi struktur dari silika-alumina (Obaje, dkk., 2013).

Tanah liat merupakan tanah berukuran lempung yang bersifat plastis dan kohesif. Tanah liat digunakan sebagai salah satu bahan baku proses pembuatan semen. Proses pengolahan tanah liat menjadi sangat penting untuk memenuhi pasokan bahan mentah dalam pembuatan semen. Karakteristik dari tanah liat yang cenderung lunak dapat menjadi bahan pendukung dalam proses pembuatan semen (Nugroho, dkk., 2024).

A. Proses Pembentukan Tanah Liat

Tanah liat merupakan produk alam, yaitu hasil pelapukan kulit bumi yang sebagian besar terdiri dari batuan feldspatik berupa batuan granit dan batuan beku. Hasil pelapukan tersebut membentuk partikel-partikel halus dan sebagian besar dipindahkan oleh tenaga

air, angin dan gletser ke suatu tempat yang lebih rendah dan jauh dari tempat batuan induk. Sebagian lagi tetap tinggal di lokasi dimana batuan induk berada.

B. Jenis Tanah Liat

Di alam hanya terdapat dua jenis tanah liat, yaitu:

1. Tanah liat primer

Yang disebut tanah liat primer adalah jenis tanah liat yang dihasilkan dari pelapukan batuan feldspatik oleh tenaga endogen yang tidak berpindah dari batuan induk. Selain tenaga air, tenaga uap panas yang keluar dari dalam bumi mempunyai andil dalam pembentukan tanah liat primer. Karena tidak terbawa arus air, angin maupun gletser, maka tanah liat tidak berpindah tempat sehingga sifatnya lebih murni dibandingkan dengan tanah liat sekunder. Tanah liat primer cenderung berbutir kasar, tidak plastis, daya leburnya tinggi dan daya susutnya kecil. Karena tidak tercampur dengan bahan organik seperti humus, ranting atau daun busuk dan sebagainya, maka tanah liat berwarna putih atau putih kusam. Pada umumnya tanah liat primer bersifat tahan api. Suhu matang berkisar antara 1300 °C sampai dengan 1750 °C. Yang termasuk tanah liat primer antara lain: kaolin, bentonite, feldspar, kuarsa dan dolomit, biasanya terdapat di tempat-tempat yang lebih tinggi.

2. Tanah liat sekunder

Tanah liat sekunder atau sediment adalah jenis tanah liat hasil pelapukan batuan feldspatik yang berpindah jauh dari batuan induknya karena tenaga eksogen, dan dalam perjalanan bercampur dengan bahan-bahan organik maupun anorganik sehingga merubah sifat-sifat kimia maupun fisika tanah liat tersebut. Jumlah tanah liat sekunder lebih banyak dari tanah liat primer. Transportasi air mempunyai pengaruh khusus pada tanah liat, salah satunya ialah gerakan arus air cenderung menggerus mineral tanah liat menjadi partikel-partikel yang semakin mengecil. Pada saat kecepatan arus melambat, partikel yang lebih berat akan mengendap dan meninggalkan partikel yang halus dalam larutan. Pada saat arus tenang, seperti di danau atau di laut, partikel-partikel yang halus akan mengendap di dasarnya. Tanah liat yang dipindahkan biasanya terbentuk dari beberapa macam jenis tanah liat dan dari beberapa sumber. Dalam setiap sungai, endapan tanah liat dari beberapa situs cenderung bercampur bersama.

Kehadiran berbagai oksida logam seperti besi, nikel, dan sebagainya, dianggap sebagai bahan pengotor. Bahan organik seperti humus dan daun busuk juga merupakan bahan pengotor tanah liat. Karena pembentukannya melalui proses panjang dan bercampur dengan bahan pengotor, maka tanah liat mempunyai sifat: berbutir halus, berwarna krem/abu-abu/coklat/merah jambu, suhu matang antara 9.000 °C s/d 14.000 °C. Pada umumnya tanah liat sekunder lebih plastis dan mempunyai daya susut yang lebih besar dari pada tanah liat primer. Setelah dibakar, warnanya menjadi lebih terang dari krem muda, abu-abu muda ke coklat.

Dibanding dengan tanah liat primer, tanah liat sekunder mempunyai ciri tidak murni, warna lebih gelap, berbutir halus dan mempunyai titik lebur yang relatif rendah. Setelah dibakar biasanya warna krem, abu-abu muda, coklat muda ke tua. Menurut titik

leburnya, tanah liat sekunder dapat dibagi menjadi lima kelompok besar, yaitu: Tanah liat tahan api (*Fire Clays*), Tanah liat *stoneware*, *Ball Clay*, Tanah liat merah (*Earthenware Clay*), dan Tanah liat jenis Monmorilinit.

a. Tanah liat tahan api (*Fire clays*)

Sering kali berwarna terang (putih) ke abu-abu gelap menuju ke hitam dan ditemukan di alam berbentuk bongkahan padat, beberapa diantaranya berkadar alumina tinggi dan kadar alkalinnya rendah. Titik leburnya mncapai suhu ± 1500 °C. Yang tergolong tanah liat tahan api ialah tanah liat yang tahan dibakar pada suhu tinggi tanpa berubah bentuk, misalnya kaolin dan mineral tahan api seperti alumina dan silika.

b. Tanah liat *stoneware*

Tanah liat *stoneware* ialah tanah liat yang dalam pembakaran tanpa disertai perubahan bentuk. Titik lebur tanah liat stoneware bisa mencapai suhu 1400 °C. Biasanya berwarna abu-abu, plastis, mempunyai sifat tahan api dan mempunyai ukuran butir tidak terlalu halus. Jumlah deposit di alam tidak sebanyak deposit kaolin atau mineral tahan api.

c. *Ball clay*

Disebut juga sebagai tanah liat sedimen, berbutir halus, mempunyai tingkat plastisitas sangat tinggi, daya susutnya besar dan biasanya berwarna abu-abu. Mempunyai titik lebur antara 1250 °C s/d 1350 °C. Karena sangat plastis, ball clay tidak dapat dibentuk sehingga hanya dapat dipakai sebagai bahan campuran pembuatan massa tanah liat siap pakai.

d. Tanah liat merah (*earthenware clay*)

Bahan ini sangat banyak terdapat di alam. Tingkat keplastisannya cukup, sehingga mudah dibentuk, warna bakar merah coklat dan titik leburnya sekitar 1000 °C s/d 1050 °C. Banyak digunakan di industri bata genteng dan gerabah kasar dan halus. Warna alaminya tidak merah terang tetapi merah bata, karena kandungan besinya mencapai 8% (Sugihartono, 2009).

C. Komposisi Kimia Tanah Liat

Tanah liat memiliki komponen terbesar SiO_2 dan Al_2O_3 . Tanah liat berfungsi sebagai sumber-sumber oksida alumina, besi dan silika pada pembuatan semen (Said, dkk., 2018). Dilihat dari ilmu kimia, tanah liat termasuk hidrosilikat alumunia dan dalam keadaan murni mempunyai rumus: $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ dengan perbandingan berat dari unsur-unsurnya : 47% silika oksida (SiO_2), 39% alumina oksida (Al_2O_3), dan 14% air (H_2O) (Hastutiningrum, 2013).

Tanah liat dibutuhkan untuk memenuhi komponen alumina (Al_2O_3) dan silika (SiO_2). SiO_2 merupakan senyawa berbentuk padatan dengan persentase volume sekitar 50 hingga 60% yang berguna untuk memperkokoh struktur semen, sedangkan Al_2O_3 dibutuhkan agar semen dapat dengan mudah bereaksi terhadap air dan membentuk pasta semen.

Tanah liat adalah bahan alam yang mengandung senyawa yang terdiri dari silika oksida (SiO_2), alumina oksida (Al_2O_3), dan besi oksida (Fe_2O_3).

1. Silika Oksida (SiO_2)

Oksida silika diperoleh dari penguraian dan dekomposisi mineral-mineral montmorilinit, kaolinit, ataupun ilit yang berasal dari tanah liat. Oksida ini bereaksi dengan oksida lain untuk membentuk senyawa mineral potensial penyusun semen.

2. Alumina Oksida (Al_2O_3)

Oksida alumina sebagian besar diperoleh dari tanah liat (*clay*). Oksida alumina selain ikut ambil bagian dalam reaksi-reaksi pembentukan mineral potensial juga berperan untuk menurunkan titik leleh pada proses pembakaran di *kiln*. Oksida alumina ini juga menentukan tingkat kekentalan lelehan hasil pembakaran di *kiln* dengan nilai berbanding lurus.

3. Besi Oksida (Fe_2O_3)

Oksida besi bersama oksida kalsium dan aluminium pada proses pembakaran di kiln akan bereaksi membentuk senyawa kalsium alumina ferrit (C_4AF). Oksida besi juga bersifat menurunkan titik leleh dan juga menentukan tingkat fase cair dalam klinkerisasi dengan nilainya berbanding lurus (Tiffany, dkk., 2020).

1.3.4 Semen

Semen adalah suatu campuran senyawa kimia yang bersifat hidrolis, artinya jika dicampur dalam air dalam jumlah tertentu akan mengikat bahan-bahan lain menjadi satu kesatuan massa yang dapat memadat dan mengeras. Secara umum semen dapat didefinisikan sebagai bahan perekat yang dapat merekatkan bagian-bagian benda padat menjadi bentuk yang kuat kompak dan keras (Marino dan Setiyarto, 2020).

A. Bahan Baku Pembuatan Semen

Bahan baku yang digunakan untuk pembuatan semen adalah batuan alam yang mengandung oksida-oksida kalsium, alumina, silika dan besi. Bahan baku tersebut terdiri dari tiga kelompok yaitu bahan baku utama, bahan baku penunjang (korektif) dan bahan baku tambahan.

1. Bahan Baku Utama

Bahan baku utama merupakan bahan baku yang mengandung komposisi kimia oksida-oksida kalsium, silika dan alumina. Bahan baku utama yang digunakan yaitu batu kapur (*Lime Stone*) dan tanah liat (*Clay*).

- a. Batu kapur (*Lime Stone*)
Calcium carbonat (CaCO_3) berasal dari pembentukan geologis yang pada umumnya dapat dipakai untuk pembuatan semen sebagai sumber senyawa kapur (CaO)
- b. Tanah liat (*Clay*).
Tanah liat merupakan bahan baku semen yang mempunyai sumber utama senyawa silika, senyawa alumina, dan senyawa besi.

2. Bahan Baku Penunjang (Korektif)

Bahan baku korektif adalah bahan tambahan pada bahan baku utama apabila pada pencampuran bahan baku utama komposisi oksida-oksidanya belum memenuhi persyaratan secara kualitatif dan kuantitatif.

Pada umumnya, bahan baku korektif yang digunakan mengandung oksida silika, oksida alumina dan oksida besi yang diperoleh dari pasir silika (*silica sand*) dan pasir besi (*iron sand*).

- a. Pasir silika (*silica sand*).
Pasir silika digunakan sebagai pengkoreksi kadar SiO_2 dalam tanah liat yang rendah.
- b. Pasir besi (*iron sand*)
Pasir besi digunakan sebagai pengkoreksi kadar Fe_2O_3 yang biasanya dalam bahan baku utama masih kurang.

3. Bahan Baku Tambahan

Bahan baku tambahan adalah bahan baku yang ditambahkan pada terak atau klinker untuk memperbaiki sifat-sifat tertentu dari semen yang dihasilkan. Bahan baku tambahan yang biasa digunakan untuk mengatur waktu pengikatan semen adalah *gypsum*.

B. Komposisi Kimia Semen

Oksida saling berinteraksi dan membentuk senyawa yang lebih kompleks. Semen tersusun oleh empat senyawa kimia dasar yaitu *belite*, *alite*, *aluminate*, dan *ferrite*.

1. *Belite* atau dikalsium silikat (C2S)

Menyusun sekitar 15-30% klinker semen portland biasa. Senyawa ini terhidrasi dan mengeras secara perlahan. Sangat berperan pada penguatan semen setelah 1 minggu.

2. *Alite* atau trikalsium silikat (C3S)

Merupakan komponen yang paling penting, menyusun sekitar 50-70% klinker semen portland biasa. Senyawa ini sangat cepat terhidrasi dan megeras. Sangat berperan pada penguatan awal semen.

3. *Aluminate* atau trikalsium aluminat (C3A)

Menyusun sekitar 5-10% klinker semen portland biasa. Senyawa ini melepaskan panas yang banyak ketika tahap awal hidrasi, tetapi memiliki sedikit kontribusi dalam penguatan semen.

4. *Ferrite* atau tetrakalsium aluminoferrit (C4AF)

Menyusun sekitar 5-15% klinker semen portland biasa. Senyawa ini berperan mengurangi temperatur bahan mentah dalam kiln dari 3000°F ke 2600°F . Senyawa ini terhidrasi dengan cepat, namun tidak berkontribusi banyak terhadap kekuatan semen (Tiffany, dkk., 2020).

1.3.5 Silika Modulus (SM) dan Alumina Modulus (AM)

Dalam pembuatan semen dikenal beberapa besaran yang disebut modulus. Modulus adalah suatu besaran yang merupakan perbandingan kadar antara suatu senyawa dengan senyawa lainnya. Modulus dapat dijadikan sebagai suatu pedoman penentu mutu semen yang sudah diproduksi, dan juga dapat dijadikan pedoman dalam penentuan komposisi *raw meal* agar dalam proses pembakaran diperoleh *klinker* yang berkualitas (Botahala dan Pasae, 2020).

A. Silika Modulus (SM)

Silika Modulus (SM) merupakan perbandingan antara kadar silika oksida (SiO_2) dengan sejumlah proporsi alumina oksida (Al_2O_3) dan besi oksida (Fe_2O_3). Besaran *Silika Modulus* (SM) dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$SM = \frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3} \quad (1)$$

Keterangan:

SM = *Silika Modulus*

SiO_2 = Kadar SiO_2 pada tanah liat

Al_2O_3 = Kadar Al_2O_3 pada tanah liat

Fe_2O_3 = Kadar Fe_2O_3 pada tanah liat

Tanah liat dengan silika modulus yang tinggi lebih sulit untuk dibakar dan menunjukkan sifat lapisan yang rendah.

B. Alumina Modulus (AM)

Alumina Modulus (AM) merupakan perbandingan antara oksida alumina dengan oksida besi. Besaran AM akan berpengaruh pada warna dari klinker dan semen. Semakin tinggi besaran AM maka semakin terang pula warna dari semen tersebut. Besaran AM dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$AM = \frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{Fe}_2\text{O}_3} \quad (2)$$

Keterangan:

AM = Alumina Modulus

Al_2O_3 = Kadar Al_2O_3 pada tanah liat

Fe_2O_3 = Kadar Fe_2O_3 pada tanah liat

Tanah liat dengan *Alumina Modulus* (AM) yang tinggi diketahui dapat menghasilkan semen dengan kekuatan awal yang tinggi, tapi membuat reaksi antara silika (SiO_2) dan kalsium oksida (CaO) di zona pembakaran lebih sulit (Putra, dkk., 2017).

1.3.6 X-Ray Fluorescence (XRF)

X-Ray Fluorescence (XRF) merupakan teknik analisa *non-destruktif* yang digunakan untuk identifikasi serta penentuan konsentrasi elemen yang ada pada padatan, bubuk

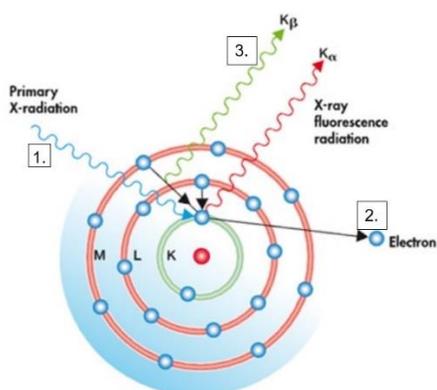
ataupun sample cair. XRF mampu mengukur elemen dari Berilium (Be) hingga Uranium (U) pada level *trace element*, bahkan di bawah level ppm (*part per million*) (Putri, dkk., 2023).

Gambar 2 merupakan alat *X-Ray Fluorescence* XRF adalah alat uji yang digunakan untuk analisis unsur yang terkandung dalam bahan secara kualitatif maupun kuantitatif. Analisis kualitatif memberikan informasi jenis unsur yang terkandung dalam bahan yang dianalisis, yang ditunjukkan oleh adanya spektrum unsur pada energi sinar-x karakteristiknya. Sedangkan analisis kuantitatif memberikan informasi jumlah unsur yang terkandung dalam bahan yang ditunjukkan oleh ketinggian puncak spektrum (Jamaludin dan Adiantoro, 2012)



Gambar 2. *Thermo Scientific X-Ray* (Dokumentasi Penulis)

Metode XRF digunakan untuk analisa unsur penyusun suatu bahan menggunakan radiasi sinar-X yang diserap dan dipantulkan oleh target atau sampel. Namun, XRF tidak bekerja dalam orde yang kecil atau mikro dan biasanya digunakan untuk analisa bahan dengan fraksi yang lebih besar seperti bahan-bahan geologi. Metode ini paling banyak digunakan untuk analisis unsur dari bahan batuan, tanah dan sedimen (Sari, 2016).



Gambar 3. Proses Terjadinya Sinar-X (Anderson, 2021)

Gambar 3 memperlihatkan skema metode XRF. Apabila terjadi eksitasi sinar-X primer yang berasal dari tabung X-Ray atau sumber radioaktif mengenai sampel, sinar-X dapat diabsorpsi atau dihamburkan oleh material. Proses dimana sinar-X 'diabsorpsi

oleh atom dengan mentransfer energinya pada elektron yang terdapat pada kulit yang lebih dalam disebut efek fotolistrik. Selama proses ini, bila sinar-X primer memiliki cukup energi, elektron pindah dari kulit yang di dalam menimbulkan kekosongan. Kekosongan ini menghasilkan keadaan atom yang tidak stabil. Apabila atom kembali pada keadaan stabil, elektron dari kulit luar pindah ke kulit yang lebih dalam dan proses ini menghasilkan energi sinar-X yang tertentu dan berbeda antara dua energi ikatan pada kulit tersebut. Emisi sinar-X dihasilkan dari proses yang disebut *X-Ray Fluorescence* (XRF). Pada umumnya kulit K dan L terlibat pada deteksi XRF. Sehingga terdapat istilah $K\alpha$ dan $K\beta$ serta $L\alpha$ dan $L\beta$ pada XRF. Jenis spektrum X-Ray dari sampel yang diradiasi akan menggambarkan puncak-puncak pada intensitas yang berbeda. XRF mampu menganalisis unsur mulai dari natrium (Na) hingga unsur uranium (U) (Sari, 2016). Contoh energi gelombang emisi sinar X atau yang disebut *X-Ray Fluorescence* (XRF) dapat dilihat pada Tabel 1.

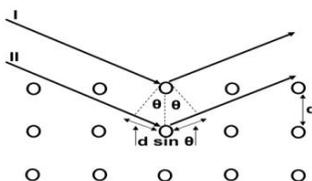
Tabel 1. Klasifikasi Energi *X-Ray Fluorescence* (XRF)

Nomor Atom	Unsur	$K\alpha$ (keV)	$K\beta$ (keV)	$L\alpha$ (keV)	$L\beta$ (keV)
12	Mg	1.25	1.30	-	-
13	Al	1.48	1.55	-	-
14	Si	1.73	1.83	-	-
16	S	2.30	2.46	-	-
19	K	3.31	3.58	-	-
20	Ca	3.69	4.01	0.341	0.344
26	Fe	6.40	7.05	0.705	0.718

Sumber: (Sari, 2016)

Untuk menganalisis sinar X digunakan dua macam teknik. *Wavelength Dispersive X-ray Fluorescence* (WDXRF) *spectrometer* dan *Energy Dispersive X-ray Fluorescence* (EDXRF) *spectrometer*. Pada WDXRF, dispersi sinar-X didapat dari difraksi menggunakan *analyzer* berupa kristal (grid). Panjang gelombang yang sesuai dengan hukum Bragg menjadi bidang kristal yang spesifik yang akan terukur oleh detektor. Aplikasi WDXRF *spectrometer* cukup luas dan beragam. WDXRF *spectrometer* sangat bagus untuk menganalisa unsur berat. Rentangan unsur WDXRF mulai dari Berillium ke Uranium.

Prinsip kerja WDXRF diawali dengan radiasi sinar-X mengenai sampel dan mengemisikan radiasi ke segala arah. Radiasi dengan arah yang spesifik dapat mencapai colimator, maka pantulan sinar radiasi dari kristal kedetektor akan membentuk sudut θ . Sudut ini akan terbentuk jika panjang gelombang yang diradiasikan sesuai dengan sudut θ dan sudut 2θ dari bidang Kristal (sesuai hukum Bragg) oleh detektor. (Harifan, dkk., 2015).



Gambar 4. Difraksi Sinar X (Harifan, dkk., 2015)

Gambar 4 menunjukkan kristal sebagai suatu kumpulan bidang-bidang yang sejajar, dimana sinar-X yang datang dipantulkan oleh masing-masing bidang kemudian terkumpul secara serentak. Berdasarkan ilustrasi tersebut Bragg mengemukakan persamaan sebagai berikut

$$n \lambda = 2d \sin \theta \quad (3)$$

n adalah bilangan bulat, d merupakan jarak antar bidang, θ adalah sudut antara sinar datang dengan bidang kristal dan λ adalah panjang gelombang sinar X (Sari, 2016)

Adapun kelebihan dan kekurangan XRF (Kurniawati, dkk., 2014):

A. Kelebihan

1. Mampu menganalisis multiunsur
2. Mampu menganalisis unsur-unsur dari natrium hingga uranium
3. Mempunyai batas deteksi hingga satuan ppm (*part per million*)
4. Cepat, murah, sensitif dan selektif serta peralatan yang mudah dioperasikan
5. Sampel dapat berupa padat, bubuk ataupun cair.
6. Tidak merusak sampel (*non destruktif*)

B. Kekurangan

1. Tidak cocok untuk analisis unsur ringan seperti H dan He
2. Preparasi sampel yang membutuhkan waktu cukup lama
3. Tidak dapat menentukan struktur dari atom yang membentuk material.

1.3.7 Inverse Distance Weighting (IDW)

Interpolasi adalah metode yang digunakan untuk memperkirakan nilai pada lokasi-lokasi tertentu berdasarkan beberapa titik data yang sudah diketahui, interpolasi sering digunakan dalam pemetaan untuk memperkirakan nilai pada area yang belum terukur. Dengan interpolasi, dapat dibuat peta yang menunjukkan sebaran nilai di seluruh area berdasarkan data sampel yang terbatas.

Interpolasi *Inverse Distance Weighted* (IDW) adalah salah satu metode interpolasi spasial yang memiliki asumsi bahwa setiap titik input mempunyai pengaruh yang bersifat lokal yang berkurang terhadap jarak. Metode ini umumnya dipengaruhi oleh inverse jarak yang diperoleh dari persamaan matematika dan kita dapat menyesuaikan pengaruh relatif dari titik-titik sampel. Nilai power pada interpolasi IDW ini menentukan pengaruh terhadap titik-titik input, dimana pengaruh akan lebih besar pada titik-titik yang lebih dekat sehingga menghasilkan permukaan yang lebih detail. Pengaruh akan lebih kecil dengan bertambahnya jarak dimana permukaan yang dihasilkan kurang detail dan terlihat halus. Jika nilai power diperbesar maka nilai output menjadi lebih terlokalisasi dan memiliki nilai rata-rata yang rendah. Penurunan nilai power akan memberikan output dengan rata-rata yang lebih besar karena memberikan pengaruh yang lebih luas. Jika nilai power diperkecil, maka dihasilkan permukaan yang lebih halus. Bobot yang digunakan untuk rata-rata adalah turunan fungsi jarak antara titik sampel dan titik yang diinterpolasi (Waston dan Philip, 1985).

$$Z_x = \sum_{i=1}^n \omega_i z_i \quad (4)$$

Dimana :

$$\omega_i = \frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{1}{d_j^p}} \quad (5)$$

Z_x = estimasi dititik x

ω_i = bobot

z_i = nilai dititik data I (data yang diketahui)

p = parameter exponen (semakin besar nilai p semakin kecil pengaruhnya)

di = jarak antara titik data yang diketahui dengan titik yang diestimasi

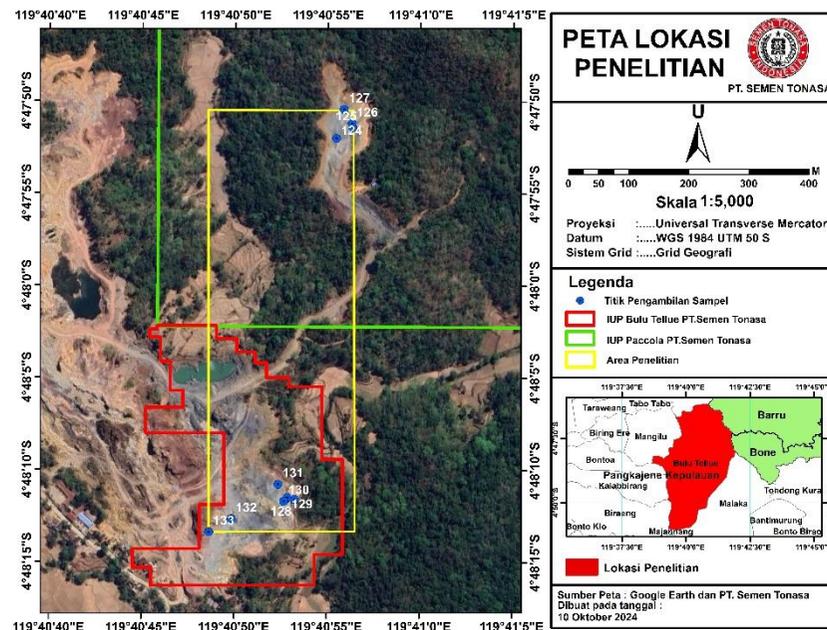
Kelebihan interpolasi IDW adalah metode interpolasi ini dapat diatur dengan membatasi titik-titik input yang terlibat dalam perhitungan. Titik-titik yang jauh dari sampel atau memiliki korelasi spasial yang rendah, bahkan tidak berkaitan, diabaikan dalam proses ini. Pemilihan titik-titik yang digunakan dalam interpolasi dapat dilakukan secara manual atau ditentukan berdasarkan jarak tertentu dari area yang ingin diinterpolasi. Kelemahan dari metode IDW adalah bahwa metode ini tidak mampu memperkirakan nilai di luar rentang maksimum dan minimum yang ada pada titik sampel yang tersedia (Yudanegara, dkk., 2021).

BAB II METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan selama bulan Desember 2023 di Laboratorium *Quality Control* milik PT. Semen Tonasa yang berlokasi di Desa Biring Ere, Kecamatan Bungoro, Kabupaten Pangkajene dan Kepulauan. Pengambilan sampel dilakukan di 10 titik pada lokasi penambangan tanah liat milik PT. Semen Tonasa.

Area penambangan *clay* milik PT Semen Tonasa tersebar di beberapa tempat, yaitu di Desa Biring Ere yang terletak Kecamatan Bungoro, di Desa Bulutellue yang terletak Kecamatan Tondong Tallasa, dan di Desa Bontoa yang terletak di Kecamatan Minasatene. Pengambilan sampel dilakukan di Desa Bulutellue, Kecamatan Tondong Tallasa yang memiliki dua IUP (Izin Usaha Pertambangan) yang berbeda, yaitu Paccola dengan luas area pertambangan mencapai 83.067 hektare dan Bulutellue dengan luas area pertambangan mencapai 9.293 hektare. Berikut merupakan gambar peta lokasi penelitian beserta batas IUP dan titik pengambilan setiap sampel di kedua lokasi.



Gambar 5. Peta Lokasi Penelitian

Sampel yang didapatkan dari sepuluh titik tersebut diberi label angka, dengan masing-masing koordinat, yaitu:

1. Sampel 124 pada 4°47'52.01" S dan 119°40'55.15" E
2. Sampel 125 pada 4°47'51.41" S dan 119°40'56.01" E
3. Sampel 126 pada 4°47'51.19" S dan 119°40'55.99" E
4. Sampel 127 pada 4°47'50.43" S dan 119°40'55.56" E
5. Sampel 128 pada 4°48'11.61" S dan 119°40'52.95" E
6. Sampel 129 pada 4°48'11.51" S dan 119°40'52.55" E

7. Sampel 130 pada 4°48'11.70" S dan 119°40'52.37" E
8. Sampel 131 pada 4°48'10.78" S dan 119°40'52.06" E
9. Sampel 132 pada 4°48'12.67" S dan 119°40'49.54" E
10. Sampel 133 pada 4°48'13.38" S dan 119°40'48.32" E

2.2 Alat dan Bahan

2.2.1 Alat

Beberapa alat yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. GPS (*Global Positioning System*), digunakan untuk memplot koordinat titik pengambilan sampel
2. Sekop sampel, digunakan untuk mengambil sampel
3. Alat tulis, digunakan untuk memberikan kode pada sampel
4. Plastik sampel, digunakan untuk menyimpan sampel
5. Oven, digunakan untuk mengeringkan sampel
6. *Disk mill*, digunakan untuk memperkecil ukuran sampel
7. Timbangan analitik, digunakan untuk menimbang sampel
8. Cawan ukur, digunakan untuk menakar sampel
9. *Grinding*, digunakan sebagai media penggilingan sampel pada *swing mill*
10. *Swing mill*, digunakan untuk menghaluskan sampel
11. *Ring* sampel, digunakan sebagai wadah mencetak sampel
12. *Automatic press*, digunakan untuk memadatkan sampel
13. *Thermo Scientific X-Ray*, digunakan untuk mendeteksi kandungan unsur-unsur pada sampel

2.2.2 Bahan

Beberapa alat yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Sampel tanah liat
2. *Grinding aid*, digunakan sebagai bahan tambahan pada preparasi sampel tanpa merusak sampel

2.3 Tahapan Penelitian

2.3.1 Tahap Persiapan

Tahap persiapan meliputi studi literatur

2.3.2 Tahap Pengambilan Sampel

Tahap dari pengambilan sampel sebagai berikut:

1. Memplot titik koordinat titik pengambilan sampel
2. Melakukan pengambilan sampel menggunakan sekop sampel
3. Memasukkan sampel ke plastik sampel dan memberikan kode sampel menggunakan alat tulis
4. Mengulangi Langkah-langkah diatas pada setiap titik pengambilan sampel

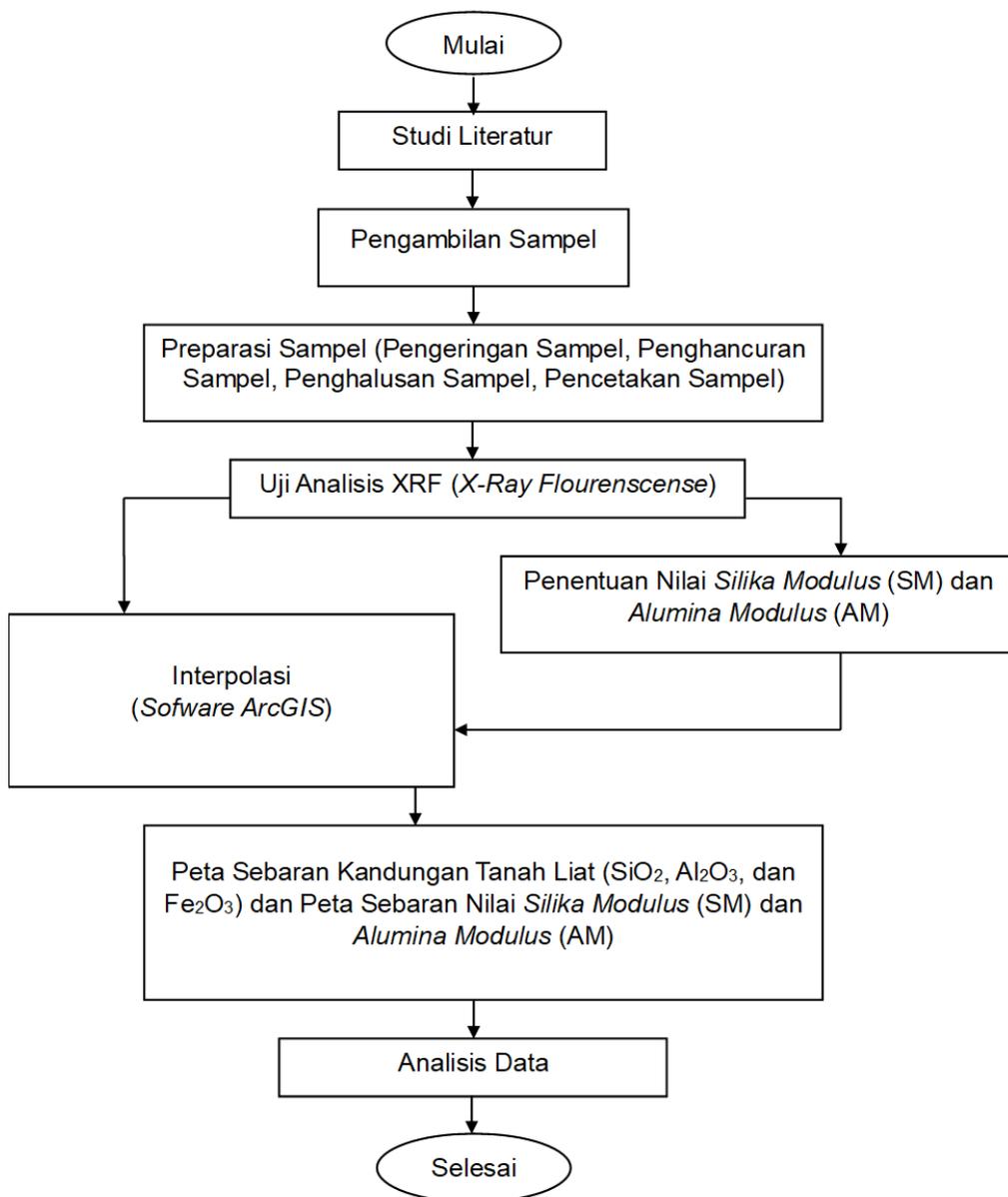
2.3.3 Tahap Preparasi Sampel

Tahap dari preparasi sampel sebagai berikut:

1. Setiap sampel dikeringkan selama 6 jam di dalam oven dengan suhu 100° C

2. Memasukkan sampel ke dalam mesin *disk mill* untuk memperkecil ukuran sampel
3. Memasukkan sampel ke cawan ukur dan menimbang sampel sebanyak 10 gram menggunakan timbangan analitik
4. Menambahkan *grinding aid* sebanyak 3 butir pada sampel
5. Memasukkan sampel yang telah ditimbang dan *grinding aid* ke alat *grinding*
6. Menghaluskan sampel menggunakan *swing mill* selama 2 menit
7. Memasukkan sampel yang telah dihaluskan ke *ring* sampel
8. Memadatkan sampel yang ada pada ring menggunakan *automatic press*
9. Memasukkan sampel ke dalam alat XRF.

2.4 Bagan Alir



Gambar 6. Bagan Alir