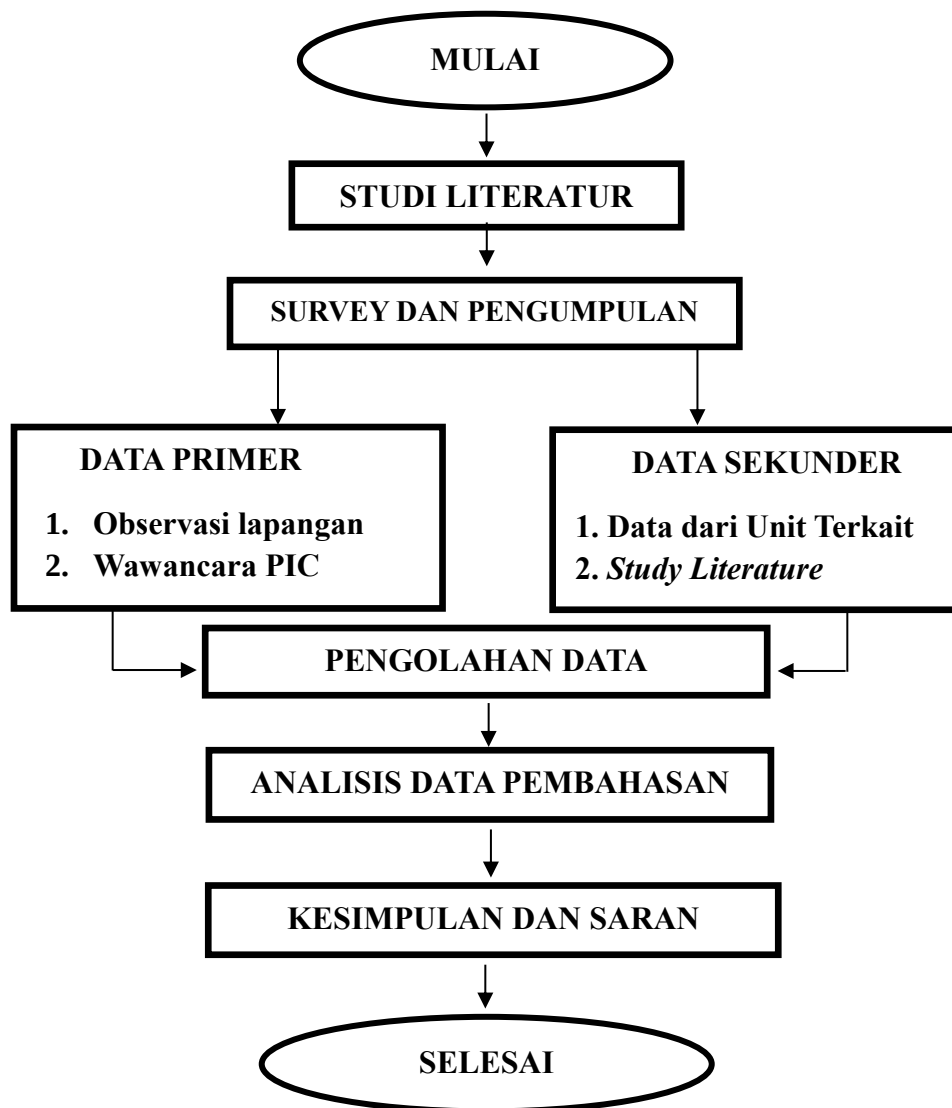


BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Bagam Alur Penelitian

Agar lebih jelas mengenai urutan metode penelitian ini ditampilkan bagan alir penelitian :



Gambar 3.1 Bagan Alur Penelitian

3.2. Metode pengumpulan data

Penelitian ini akan menggunakan pendekatan kualitatif dan kuantitatif (*mixed methods*) untuk menilai efektivitas pemanfaatan *Sludge oil* dalam proses pembakaran *clinker* di PT Semen Baturaja Tbk. Metode campuran merupakan metode penelitian yang menggabungkan metode kuantitatif dan kualitatif secara bersama-sama sehingga menghasilkan data yang lebih valid, reliabel, dan komprehensif (Sugiyono, 2022).

3.2.1. Pendekatan kualitatif

Pendekatan kualitatif berfokus pada pemahaman mendalam mengenai fenomena berdasarkan perspektif, pengalaman, dan konteks di lapangan. Pendekatan ini menghasilkan data deskriptif berupa kata-kata, gambar, aktivitas, atau interpretasi. Metode kualitatif digunakan untuk meneliti pada kondisi obyek yang alamiah, di mana peneliti berperan sebagai instrumen kunci (Sugiyono, 2022). Dalam penelitian ini, data akan dikumpulkan melalui beberapa cara agar informasi yang diperoleh akurat dan representatif:

a. Pengumpulan Data Primer

Data primer diperoleh melalui observasi langsung di lapangan dan melakukan wawancara dengan PIC.

b. Pengumpulan Data Sekunder

Data sekunder diperoleh dari dokumen dan literatur terkait, antara lain:

1. Laporan tahunan PT Semen Baturaja terkait limbah B3 dan energi.

2. Dokumen teknis tentang prosedur penanganan *Sludge oil* dan standar keselamatan lingkungan.
3. Referensi ilmiah dan publikasi jurnal tentang karakteristik *Sludge oil*, pemulihan minyak, dan pemanfaatannya sebagai bahan bakar.

3.2.2. Pendekatan kuantitatif

Pendekatan kuantitatif berfokus pada pengukuran variabel secara numerik, penggunaan instrumen terstandar, dan analisis statistik untuk memperoleh hasil objektif. Metode kuantitatif digunakan untuk meneliti pada populasi atau sampel tertentu, dengan teknik pengambilan sampel yang umumnya dilakukan secara random dan menggunakan instrumen penelitian untuk pengukuran (Sugiyono, 2022).

3.2.3. Analisis Data

Analisis data merupakan tahap penting dalam penelitian ini yang bertujuan untuk mengolah data primer dan sekunder sehingga dapat menjawab rumusan masalah serta mencapai tujuan penelitian. Dalam penelitian ini untuk mengetahui tingkat efektivitas pemanfaatan *Sludge oil* sebagai bahan bakar alternatif dalam proses pembakaran *clinker*, diperlukan suatu metode kuantitatif yang mampu menggambarkan pengaruh substitusi bahan bakar terhadap aspek teknis, lingkungan, dan ekonomi.

Pada penelitian ini analisis efektivitas akan dilakukan dengan membandingkan jumlah penggunaan batubara sebelum dan sesudah dilakukan substitusi *Sludge oil* guna mengetahui besarnya persentase pengurangan konsumsi batubara. Selain itu, penggunaan *Sludge oil* juga berpotensi mempengaruhi

kualitas udara di sekitar area *kiln* akibat perubahan karakteristik emisi gas buang. Oleh karena itu, akan dilakukan analisis dampak lingkungan dengan mengkaji parameter emisi CO₂, NO₂, dan SO₂ untuk menilai perubahan kualitas udara ambien sebagai akibat dari proses pembakaran.

Di samping aspek lingkungan, analisis nilai ekonomis juga akan dilakukan untuk mengetahui tingkat penghematan biaya operasional bahan bakar yang dihasilkan dari substitusi *Sludge oil* terhadap batubara. Hasil analisis ini diharapkan dapat memberikan gambaran menyeluruh mengenai efektivitas penggunaan *Sludge oil* ditinjau dari sisi efisiensi energi, dampak terhadap lingkungan, serta manfaat ekonomi yang diperoleh.

3.2.3.1 Analisis Efektivitas Penggunaan *Sludge oil*

Pengukuran efektivitas substitusi *sludge oil* dengan batubara mengikuti metode evaluasi *co-combustion* di mana pengurangan konsumsi batubara/efisiensi energi dihitung sebagai perubahan relatif sebelum dan setelah penggantian bahan bakar, sebagaimana digunakan dalam penelitian *co-combustion sludge* dan *coal* (Sun dkk. 2024). Rumus efektivitas yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada konsep rasio efektivitas menurut Petra dan Sari (2021).

a. Rumus efektivitas pengurangan batubara:

$$\text{Efektivitas (\%)} = \frac{\text{Batubara awal} - \text{Batubara setelah substitusi}}{\text{Batubara awal}} \times 100$$

1.2.3.2 Analisis Dampak Lingkungan

Analisis dampak lingkungan dilakukan untuk menilai pengaruh proses pembakaran terhadap kualitas udara. Evaluasi dilakukan melalui pengukuran emisi

gas CO₂, NO₂, dan SO₂ serta perhitungan *Environmental Impact Index* (IE) guna mengetahui tingkat dampak lingkungan yang ditimbulkan berdasarkan perbandingan konsentrasi emisi dengan baku mutu yang berlaku.

a. Pengukuran emisi gas (CO₂, NO₂, SO₂)

Pengukuran emisi gas buang yang meliputi karbon dioksida (CO₂), nitrogen dioksida (NO₂), dan sulfur dioksida (SO₂) dilakukan untuk mengevaluasi dampak lingkungan dari proses pembakaran bahan bakar pada sistem produksi. Emisi gas tersebut merupakan indikator utama pencemaran udara karena berkontribusi terhadap pemanasan global, pembentukan hujan asam, serta gangguan kesehatan manusia dan lingkungan.

Pengukuran konsentrasi CO₂ umumnya dilakukan menggunakan metode *Non-Dispersive Infrared (NDIR)*, sedangkan pengukuran NO₂ dan SO₂ dilakukan menggunakan **sensor elektrokimia** atau metode standar pengujian emisi sumber tidak bergerak. Metode pengukuran ini mengacu pada standar pengujian emisi industri yang ditetapkan oleh peraturan lingkungan hidup, sehingga hasil pengukuran dapat dibandingkan dengan baku mutu emisi yang berlaku (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia, 2021).

b. Perhitungan *Environmental Impact Index* (IE):

Untuk menilai tingkat dampak lingkungan secara kuantitatif, digunakan *Environmental Impact Index* (IE). Indeks ini dihitung dengan membandingkan konsentrasi emisi gas hasil pengukuran terhadap nilai baku mutu lingkungan yang ditetapkan, sehingga dapat menggambarkan tingkat tekanan pencemar terhadap lingkungan. Perhitungan dampak lingkungan dalam penelitian ini dilakukan

menggunakan pendekatan indeks pencemaran dengan membandingkan konsentrasi aktual setiap parameter pencemar terhadap nilai baku mutu lingkungan yang berlaku. Metode ini mengacu pada indeks pencemaran yang dikemukakan oleh Masyruroh dan Binyati (2021), di mana tingkat pencemaran lingkungan dinilai berdasarkan rasio antara konsentrasi pencemar terukur dan standar lingkungan yang ditetapkan. Perhitungan IE dilakukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$IE = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{S_i}$$

Keterangan :

- C_i = konsentrasi emisi hasil pengukuran (mg/Nm³ atau ppm)
- S_i = konsentrasi emisi baku mutu lingkungan
- n = jumlah parameter emisi yang dianalisis
- $i = 1$ menunjukkan parameter pencemar pertama yang dihitung dalam indeks lingkungan

c. Perhitungan kualitas udara (CO₂, NO₂, SO₂)

Penilaian kualitas udara dilakukan dengan menggunakan rumus spesifik yang membandingkan konsentrasi aktual masing-masing parameter pencemar udara dengan nilai baku mutu yang ditetapkan. Pendekatan ini bertujuan untuk mengetahui kontribusi setiap parameter emisi terhadap dampak lingkungan secara kuantitatif. Metode ini mengacu pada konsep indeks pencemaran dan indeks kualitas udara, di mana tingkat pencemaran dinyatakan sebagai rasio antara konsentrasi polutan terukur dan standar lingkungan yang berlaku (Masyruroh &

Binyati, 2021). Rumus spesifik untuk penilaian kualitas udara dalam penelitian ini dinyatakan sebagai berikut :

$$IE = \frac{CO_2^{\text{hit}}}{CO_2^{\text{standar}}} + \frac{NO_2^{\text{hit}}}{NO_2^{\text{standar}}} + \frac{SO_2^{\text{hit}}}{SO_2^{\text{standar}}}$$

Keterangan:

- IE = Environmental Impact Index
- CO₂, NO₂, SO₂ (hit) = hasil pengukuran emisi gas buang
- CO₂, NO₂, SO₂ (standar) = nilai baku mutu emisi yang berlaku

Interpretasi Nilai IE:

- IE < 1 → kualitas udara lebih baik / dampak rendah
- IE = 1 → sesuai dengan baku mutu
- IE > 1 → kualitas udara menurun / dampak tinggi

3.2.3.3 Analisis Nilai Ekonomis

a. Biaya bahan bakar per ton *clinker*

Analisis nilai ekonomis dilakukan untuk mengevaluasi dampak penggunaan bahan bakar alternatif *sludge oil* terhadap biaya operasional proses pembakaran *clinker*. Evaluasi ini penting untuk mengetahui sejauh mana substitusi *sludge oil* dapat menurunkan biaya bahan bakar dibandingkan dengan penggunaan batubara secara murni. Parameter utama yang dianalisis meliputi biaya bahan bakar per ton *clinker* dan persentase penghematan biaya yang dihasilkan.

Biaya bahan bakar per ton *clinker* dihitung berdasarkan jumlah konsumsi batubara dan *sludge oil* yang digunakan serta harga masing-masing bahan bakar. Perhitungan dilakukan dengan membandingkan biaya pada kondisi penggunaan

batubara murni dengan biaya pada kondisi campuran batubara dan *sludge oil*. Pendekatan ini umum digunakan dalam analisis keekonomian pemanfaatan bahan bakar alternatif pada industri semen (Modenisha & Ritha, 2025).

Secara matematis, biaya bahan bakar per ton *clinker* dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\text{Biaya} = \text{Konsumsi batubara} \times \text{Harga batubara} - \text{Konsumsi Sludge oil} \times \text{Harga Sludge oil}$$

b. Persentase penghematan biaya

Tingkat efisiensi biaya akibat penggunaan *sludge oil* dinyatakan dalam bentuk persentase penghematan biaya, yang dihitung dengan membandingkan biaya bahan bakar pada kondisi batubara murni terhadap biaya bahan bakar pada kondisi campuran *sludge oil*, sebagaimana ditunjukkan pada persamaan berikut (Modenisha & Ritha, 2025):

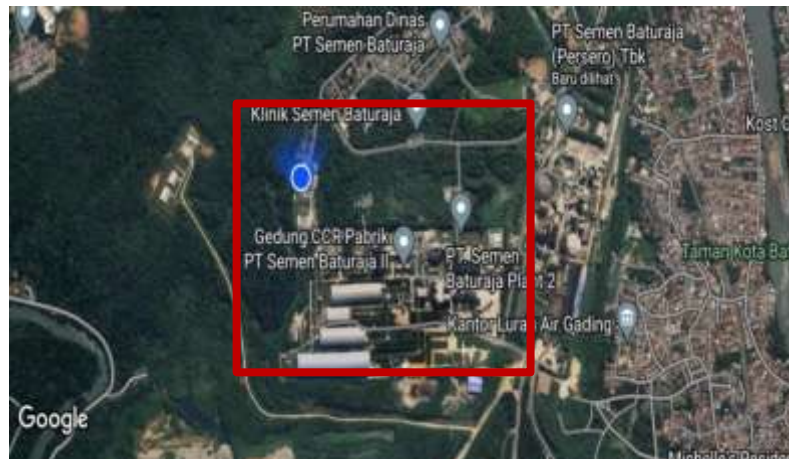
$$\text{Penghematan (\%)} = \frac{\text{Biaya batubara murni} - \text{Biaya campuran Sludge oil}}{\text{Biaya batubara murni}} \times 100$$

3.3. Lokasi Dan Waktu Penelitian

3.3.1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di PT Semen Baturaja Tbk yang memiliki 3 *site* yakni *Site Baturaja*, *Site Palembang*, dan *Site Panjang*. *Site Baturaja* berlokasi di Kelurahan Sukajadi, Kabupaten Ogan Komering Ulu dan *Site Panjang* berlokasi di Kota Lampung. Perusahaan ini bergerak di industri semen dengan produk utama semen PCC dan OPC serta beberapa produk turunan semen lainnya. Penulis melakukan Penelitian di *site Baturaja*, yang berlokasi di Jalan Raya Tiga Gajah,

Sukajadi, Baturaja Timur, Ogan Komering Ulu, Sumatera Selatan berada pada titik koordinat (S = 04°06'53,6'' ; E = 104°09'27,4'').



Gambar 3.2 Lokasi Penelitian

3.3.2 Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Oktober 2025 sampai bulan Januari 2026. Adapun jadwal penelitian dapat dilihat pada tabel 3.2.

Tabel 3.1 Jadwal penelitian

No	Jenis Penelitian	2025																2026	
		September				Oktober				November				Desember				Januari	
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2
1	Pengusulan Judul Skripsi																		
2	Penyusunan Proposal Skripsi																		
3	Seminar Proposal Skripsi																		
4	Observasi dan Pengumpulan Data																		
5	Penyusunan Skripsi																		
6	Ujian Skripsi																		