

# Ekstraksi Kalsium dari Brine Geothermal Menggunakan Metode *Chemical Precipitation*

Akbar Ramadhan, Satria Ridho Illahi, Akbar Ismi Aziz Pramito, Dilia Puspa, Martha Aznury\*

Program Studi Teknologi Kimia Industri, Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang

\*Koresponden email: martha\_aznury@polsri.ac.id

Diterima: 29 Agustus 2025

Disetujui: 2 September 2025

## Abstract

Geothermal brine is liquid waste from geothermal power plants that contains various minerals, including calcium, which can cause scaling in piping systems. This study aims to extract calcium from geothermal brine of PT Pertamina Geothermal Energy Tbk. using the chemical precipitation method with sodium oxalate, followed by conversion into calcium sulfate dihydrate (gypsum) through a reaction with sulfuric acid. The process begins with the precipitation of calcium oxalate from brine by adding sodium oxalate at a temperature of 25–35°C with varying reaction times. The calcium oxalate precipitate is then reacted with sulfuric acid at different molar ratios to produce gypsum. The results show that a 1:4 molar ratio and 40 minutes of reaction time yielded the optimal outcome, with a conversion yield of 98.80% and water content of 19.48% in the product. Elemental analysis using XRF revealed that the calcium and sulfur contents in the gypsum were close to theoretical values, indicating successful conversion. This study demonstrates that geothermal brine can be utilized as an alternative raw material for gypsum production while supporting sustainable waste management practices.

**Keywords:** *geothermal brine, calcium, chemical precipitation, sodium oxalate, gypsum*

## Abstrak

*Geothermal brine* merupakan limbah cair dari pembangkit listrik tenaga panas bumi yang mengandung berbagai mineral, termasuk kalsium, yang dapat menyebabkan scaling pada sistem perpipaan. Penelitian ini bertujuan mengekstraksi kalsium dari geothermal brine PT Pertamina Geothermal Energy Tbk. melalui metode presipitasi kimia menggunakan natrium oksalat, kemudian mengkonversinya menjadi kalsium sulfat dihidrat (gypsum) dengan reaksi menggunakan asam sulfat. Proses diawali dengan pengendapan kalsium oksalat dari brine melalui penambahan natrium oksalat pada suhu 25–35°C dengan variasi waktu reaksi. Endapan kalsium oksalat kemudian direaksikan dengan asam sulfat pada berbagai rasio molar untuk memperoleh produk gypsum. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rasio molar 1:4 dan waktu reaksi 40 menit memberikan hasil optimal dengan yield konversi mencapai 98,80% dan kadar air produk sebesar 19,48%. Analisis kandungan unsur menggunakan XRF menunjukkan bahwa komposisi kalsium dan sulfur dalam gypsum mendekati nilai teoritis, menunjukkan keberhasilan konversi. Penelitian ini membuktikan bahwa geothermal brine dapat dimanfaatkan sebagai sumber alternatif bahan baku gypsum, sekaligus mendukung prinsip pengelolaan limbah yang berkelanjutan.

**Kata Kunci:** *geothermal brine, kalsium, chemical precipitation, natrium oksalat, gipsum*

## 1. Pendahuluan

Energi panas bumi (geothermal) merupakan sumber energi terbarukan yang memiliki potensi besar di Indonesia, karena berada di zona cincin api (*ring of fire*) dengan banyak aktivitas vulkanik [1], [2]. Pemerintah Indonesia melalui Kementerian ESDM telah mencatat bahwa pemanfaatan panas bumi baru mencapai sekitar 1.948,5 MW pada tahun 2024, yang berarti masih terdapat peluang besar untuk eksplorasi dan pemanfaatan lanjutan [3]. Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) memanfaatkan energi panas dari dalam bumi untuk menghasilkan listrik, namun proses ini juga menghasilkan limbah cair berupa *geothermal brine* yang mengandung berbagai mineral terlarut seperti natrium, kalium, kalsium, dan silika [4]. Salah satu tantangan utama dalam pengelolaan *geothermal brine* adalah tingginya kandungan kalsium yang dapat menyebabkan *scaling* atau pengendapan pada pipa dan peralatan, sehingga menurunkan efisiensi operasi PLTP dan meningkatkan biaya pemeliharaan [5], [6].

Kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) memiliki nilai ekonomi yang tinggi dan banyak digunakan di berbagai sektor industri, mulai dari konstruksi hingga medis [5]. Salah satu senyawa turunan kalsium yang paling banyak dimanfaatkan adalah gypsum ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), yang digunakan sebagai bahan baku semen, papan gypsum,

retarder beton, dan implan tulang [7][8]. Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengekstraksi kalsium dari limbah cair, baik untuk mengurangi dampak scaling maupun untuk memanfaatkan kalsium sebagai bahan baku industri.

Metode *chemical precipitation* atau presipitasi kimia merupakan salah satu pendekatan yang efektif [7], [8], di mana ion kalsium diendapkan dalam bentuk senyawa tidak larut seperti kalsium oksalat yang kemudian dapat direaksikan kembali menjadi produk yang berguna, seperti kalsium sulfat dihidrat (*gypsum*) [9], [10]. Beberapa penelitian sebelumnya telah menggunakan batu kapur [11], limbah cangkang telur [12], dan limbah industri lainnya [13] sebagai sumber kalsium untuk sintesis kalsium sulfat (*gypsum*). Namun, studi yang memanfaatkan *geothermal brine* sebagai sumber kalsium alternatif masih sangat terbatas, khususnya di Indonesia, padahal limbah ini berlimpah dan belum dimanfaatkan secara optimal.

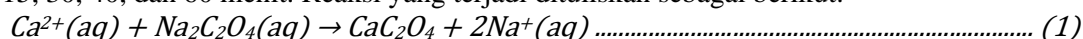
Penelitian ini menawarkan pendekatan baru yaitu pemanfaatan *geothermal brine* dari PLTP Lumut Balai milik PT Pertamina Geothermal Energy Tbk., untuk mengekstraksi kalsium menggunakan natrium oksalat, kemudian mengkonversinya menjadi kalsium sulfat dihidrat (*gypsum*) melalui reaksi dengan asam sulfat. Keunggulan dari metode ini terletak pada efisiensi ekstraksi kalsium, yield konversi produk *gypsum* yang tinggi, serta kualitas produk yang memenuhi standar. Selain itu, pendekatan ini mendukung pengelolaan limbah secara berkelanjutan dan penerapan prinsip ekonomi sirkular [14].

Kebaruan (*novelty*) dari penelitian ini adalah penggunaan langsung *geothermal brine Indonesia* sebagai bahan baku *gypsum*, melalui dua tahap presipitasi yang menghasilkan produk berkualitas tinggi. Selain itu, penelitian ini mengevaluasi pengaruh rasio molar dan waktu reaksi terhadap yield dan kadar air produk, sesuatu yang belum banyak dibahas dalam studi sebelumnya. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya menyumbang pengetahuan dalam bidang teknik kimia, tetapi juga memberikan solusi praktis bagi industri panas bumi dan konstruksi.

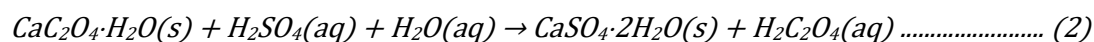
## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini bertujuan mengekstraksi kalsium dari *geothermal brine* milik PT Pertamina Geothermal Energy Tbk., Area Lumut Balai, menggunakan metode presipitasi kimia yang dilanjutkan konversi menjadi kalsium sulfat dihidrat. Brine yang digunakan merupakan hasil proses separator dan dianalisis kandungan mineralnya menggunakan ICPOES sebelum perlakuan. Alat utama yang digunakan dalam penelitian meliputi beaker glass, hot plate dengan pengaduk magnetik, pH meter, timbangan analitik, kertas saring Whatman No.42, oven, dan spektrometer X-Ray Fluorescence (XRF) untuk analisis unsur. Desain percobaan dilakukan dalam dua tahap utama, yaitu tahap presipitasi kalsium oksalat dan tahap konversi menjadi *gypsum*.

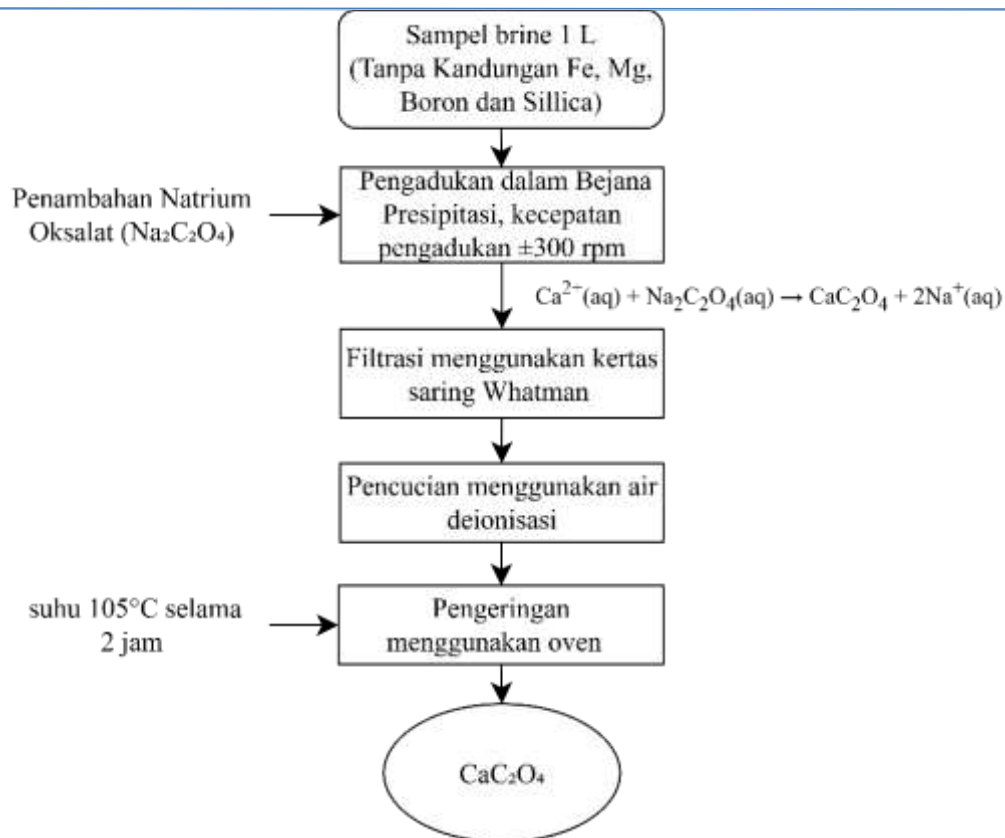
Pada tahap pertama, dilakukan presipitasi ion  $Ca^{2+}$  dalam brine dengan penambahan natrium oksalat ( $Na_2C_2O_4$ ) pada rasio molar tetap 1:1, dengan pengadukan 300 rpm pada suhu 25–35°C selama waktu reaksi 15, 30, 40, dan 60 menit. Reaksi yang terjadi dituliskan sebagai berikut:



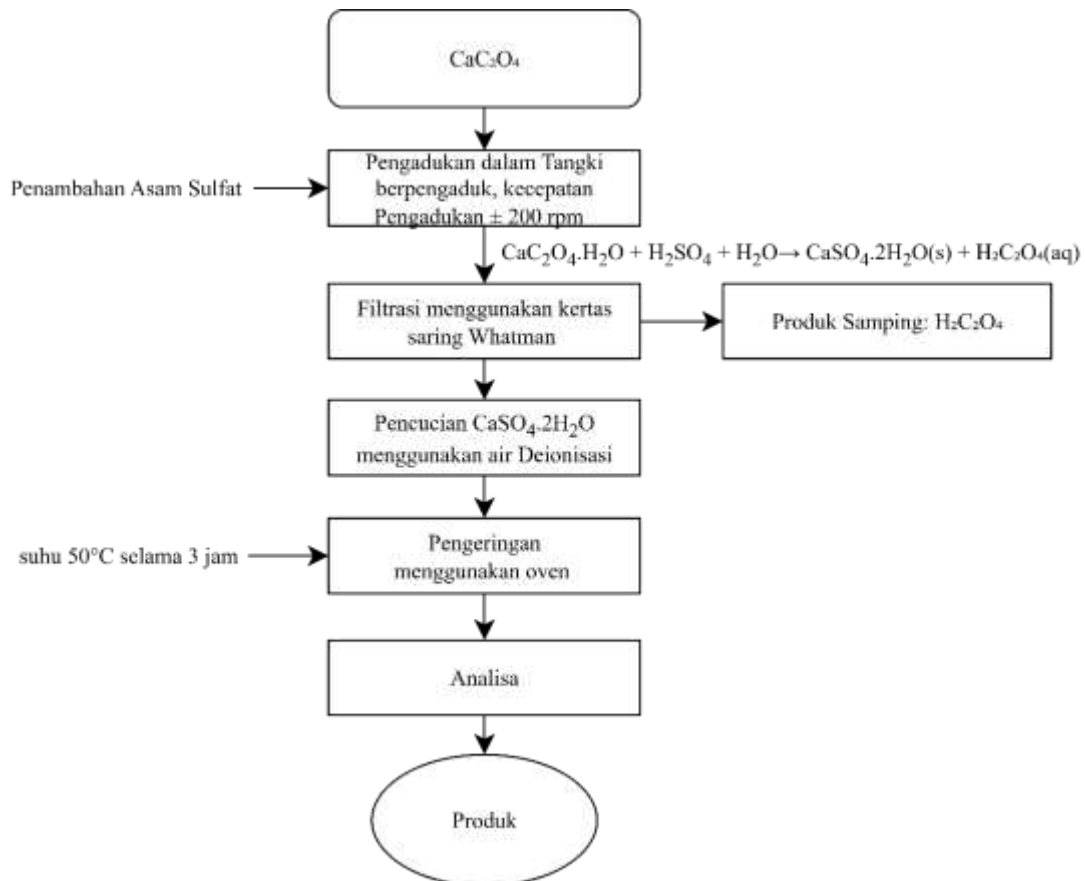
Endapan kalsium oksalat yang terbentuk disaring dan dikeringkan pada suhu 105°C selama 2 jam. Pada tahap kedua, endapan kering  $CaC_2O_4$  direaksikan dengan larutan  $H_2SO_4$  1 M dalam variasi rasio molar 1:1, 1:2, 1:4, dan 1:6, dengan volume tetap 100 mL, suhu 25–35°C, dan waktu reaksi 15 hingga 60 menit. Reaksi konversi menjadi *gypsum* ditunjukkan oleh persamaan berikut:



Produk *gypsum* yang dihasilkan disaring dan dikeringkan pada suhu 50°C selama 3 jam, kemudian dianalisis kandungan airnya menggunakan metode pengeringan sesuai SNI 1971:2011 [15] dan dianalisis komposisi unturnya dengan XRF. Teknik pengambilan data dilakukan dengan pencatatan massa presipitat untuk perhitungan yield dan kadar air. Analisis hasil menggunakan metode deskriptif, serta kualitas produk *gypsum*. Diagram alir proses penelitian dapat dilihat pada **Gambar 1** dan **Gambar 2**.



**Gambar 1.** Diagram Alir Ekstraksi Kalsium dari Geothermal brine



**Gambar 2.** Diagram Alir Proses Pembuatan Kalsium Sulfat Dihidrat

### 3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas metode presipitasi kimia dalam mengekstraksi kalsium dari *geothermal brine* dan mengkonversinya menjadi kalsium sulfat dihidrat (*gypsum*). Seluruh percobaan dilakukan pada waktu reaksi tetap yaitu 40 menit, sementara rasio molar reagen divariasikan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap yield dan kualitas produk. Data hasil penelitian ditampilkan dalam bentuk tabel dan dibahas berdasarkan signifikansi hasil dan keterkaitannya dengan tujuan penelitian.

Pada tahap presipitasi, ion  $Ca^{2+}$  dalam brine direaksikan dengan natrium oksalat membentuk endapan kalsium oksalat. Hasil menunjukkan bahwa presipitasi menghasilkan endapan sebesar 1,74 g dengan yield 96,77%, seperti ditampilkan pada **Tabel 1**. Hasil ini menunjukkan efisiensi tinggi, mendekati maksimal, dalam mengikat ion kalsium. Hal ini penting untuk mengurangi potensi *scaling* dalam sistem perpipaan PLTP.

**Tabel 1.** Data Persentase Yield Ekstraksi Kalsium menjadi Kalsium Oksalat pada Waktu Reaksi 40 Menit

Sampel	Ratio Mol $Ca^{2+}$ : $Na_2C_2O_4$	suhu ( $^{\circ}C$ )	Berat $CaC_2O_4$ (g)	Yield (%)
1	1:1	33	1,72	95,66
2			1,69	93,99
3			1,74	96,77
4			1,69	93,99

Tahap konversi dilakukan dengan mereaksikan kalsium oksalat yang telah dikeringkan dengan asam sulfat ( $H_2SO_4$ ) dalam berbagai rasio molar. Tabel 2 menunjukkan bahwa rasio molar  $CaC_2O_4:H_2SO_4$  sebesar 1:4 memberikan hasil terbaik dengan berat produk 2,31 g dan yield 98,80%. Rasio 1:1 menghasilkan yield 93,89%, sedangkan rasio 1:6 menurun menjadi 93,35%. Penurunan yield pada rasio 1:6 menunjukkan bahwa kelebihan asam sulfat tidak meningkatkan konversi, bahkan dapat menyebabkan redissolusi produk. Ini menegaskan bahwa rasio molar optimal penting untuk mencapai efisiensi maksimal.

**Tabel 2.** Data Persentase Yield dan Kadar Air Konversi Kalsium Oksalat menjadi Kalsium Sulfat Dihidrat

Sampel	Ratio Molar $CaC_2O_4 : H_2SO_4$	suhu ( $^{\circ}C$ )	pH	Berat $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ (g)	Yield (%)	Kadar Air (%)
1	1:1	33	7	2,17	93,89	18,43
2	1:2		6	2,17	95,56	17,97
3	1:4		6	2,31	98,80	19,48
4	1:6		6	2,12	93,35	18,87

Kualitas gypsum yang dihasilkan dianalisis berdasarkan kadar air menurut SNI 1971:2011 dan kandungan unsur. Pada rasio 1:4, kadar air gypsum mencapai 20,10%, mendekati standar 20,93%, menunjukkan produk memenuhi standar kualitas. Selain itu, analisis XRF menunjukkan kandungan unsur Ca sebesar 21,26% dan S sebesar 18,45%, mendekati komposisi teoritis gypsum murni ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ), sebagaimana ditunjukkan pada **Tabel 3**. Kandungan unsur pengotor seperti Na, Si, dan Cl relatif rendah, sehingga produk dikategorikan memiliki kemurnian tinggi.

**Tabel 3.** Komposisi Unsur Gypsum Berdasarkan XRF

No	Parameter	Unit	Hasil Analisa
1	Ca	%	$21,256 \pm 0,336\%$
2	S	%	$18,451 \pm 0,195\%$
3	Na	%	$7,112 \pm 0,211\%$
4	Si	%	$1,721 \pm 0,131\%$
5	Cl	%	$1,147 \pm 0,078\%$

Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode presipitasi kimia pada waktu reaksi 40 menit dan rasio molar 1:4 efektif menghasilkan gypsum berkualitas dengan yield tinggi. Temuan ini membuktikan hipotesis bahwa *geothermal brine* dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku gypsum alternatif secara efisien. Keunikan penelitian ini terletak pada pemanfaatan limbah cair panas bumi yang selama ini belum dimanfaatkan secara luas. Dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang menggunakan limbah padat

dan hanya mencapai yield konversi 85–90% [12], [13], metode ini menunjukkan keunggulan dalam efisiensi dan kualitas produk.

Hasil ini memberikan jawaban terhadap tujuan penelitian, yaitu menghasilkan gypsum berkualitas dari sumber alternatif sambil mengurangi potensi dampak negatif dari *geothermal brine*. Rekomendasi untuk penelitian selanjutnya adalah uji skala pilot plant dan kajian ekonomi proses untuk mendorong pemanfaatan limbah panas bumi secara industri.

#### 4. Kesimpulan

Penelitian ini membuktikan bahwa metode presipitasi kimia efektif dalam mengekstraksi kalsium dari *geothermal brine* dan mengkonversinya menjadi kalsium sulfat dihidrat (*gypsum*) berkualitas. Pada waktu reaksi tetap 40 menit, rasio molar optimum  $\text{CaC}_2\text{O}_4:\text{H}_2\text{SO}_4$  sebesar 1:4 menghasilkan yield konversi tertinggi sebesar 98,80% dan kadar air produk 19,48%, mendekati standar SNI. Komposisi unsur gypsum hasil konversi menunjukkan kemurnian tinggi, dengan kandungan kalsium dan sulfur mendekati nilai teoritis, serta kadar pengotor yang rendah. Hasil ini menegaskan bahwa brine yang selama ini dianggap limbah, dapat dimanfaatkan secara efisien sebagai bahan baku gypsum alternatif.

Penelitian ini berkontribusi dalam pengembangan teknologi pengolahan limbah cair panas bumi menjadi produk industri bernilai ekonomis. Pemanfaatan *geothermal brine* sebagai sumber bahan baku gypsum mendukung prinsip ekonomi sirkular dan pengelolaan limbah berkelanjutan. Ke depan, temuan ini dapat menjadi dasar untuk penerapan di skala industri, khususnya pada Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP), serta mendorong inovasi bahan baku lokal di sektor konstruksi dan material bangunan. Rekomendasi selanjutnya adalah kajian keekonomian dan dampak lingkungan untuk pengembangan proses ini secara komersial.

#### 5. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT. Pertamina Geothermal Energy Tbk. Area Lumut Balai dan rekan-rekan dari Politeknik Negeri Sriwijaya yang telah memberikan wawasan dan keahlian yang sangat membantu penelitian ini, kontribusi mereka sangat penting bagi penyelesaian penelitian ini.

#### 6. Daftar Pustaka

- [1] M. F. Khasmadin and U. Harmoko, “Kajian Potensi dan Pemanfaatan Energi Panas Bumi di Wilayah Kerja Panas Bumi Patuha Ciwidey,” *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 2, no. 2, pp. 101–113, Jul. 2021, doi: 10.14710/jebt.2021.11187.
- [2] R. T. Marry, “Panas Bumi Harta Karun Yang Terpendam Menuju Ketahanan Energi,” *Jurnal Ketahanan Nasional*, vol. 23, no. 2, p. 93, Aug. 2017, doi: 10.22146/jkn.26944.
- [3] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, “Ini Dia Sebaran Pembangkit Listrik Panas Bumi di Indonesia,” <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/ini-dia-sebaran-pembangkit-listrik-panas-bumi-di-indonesia>.
- [4] A. Afriandi and R. Hantoro, “Analisis Pemanfaatan Geothermal Brine untuk Pembangkitan Listrik dengan Heat Exchanger,” *Jurnal Teknik ITS*, vol. 7, 2018, doi: 10.12962/j23373539.v7i1.27687.
- [5] H. Roueindeji, “Alkaline-earth metals : coordination chemistry and catalytic applications,” 2020. [Online]. Available: <https://theses.hal.science/tel-03118326v1>
- [6] R. Dipippo, *Geothermal power plants: Principles, applications and case studies*. Elsevier, 2015. doi: 10.1016/C2014-0-02885-7.
- [7] H. Nikkhah, A. Di Maria, G. Granata, and B. Beykal, “Sustainable process design for lithium recovery from geothermal brines using chemical precipitation,” *Resour Conserv Recycl*, vol. 212, Jan. 2025, doi: 10.1016/j.resconrec.2024.107980.
- [8] Y. Dahman, “Nanopolymers,” in *Nanotechnology and Functional Materials for Engineers*, Elsevier, 2017, pp. 121–144. doi: 10.1016/b978-0-323-51256-5.00006-x.
- [9] E. Melliti, A. Mejri, and H. Elfil, “Calcium Sulfates: Sources, Properties and Applications,” 2022, pp. 79–108. doi: 10.52305/vjzp3842.
- [10] A. E. S. Van Driessche, T. M. Stawski, L. G. Benning, and M. Kellermeier, “Calcium Sulfate Precipitation Throughout Its Phase Diagram,” in *New Perspectives on Mineral Nucleation and Growth*, Springer International Publishing, 2017, pp. 227–256. doi: 10.1007/978-3-319-45669-0\_12.
- [11] G. Yoanita, “Study Synthesis Of Gypsum From Limestone In Central Sulawesi,” *Kovalen*, vol. 2, no. 1, pp. 39–47, 2016.

- 
- [12] S. Seesanong *et al.*, “Sustainable Production and Physicochemical Characteristics of Calcium Sulfate Dihydrate Prepared from Waste Eggshells,” *Crystals (Basel)*, vol. 14, no. 7, Jul. 2024, doi: 10.3390/cryst14070577.
- [13] N. S. Widari, “Utilisation Of Small Industrial Solid Waste Welding Workshops Carbide As A Raw Material For Gypsum (Caso4) Production,” *Engineering and Technology Journal*, vol. 07, no. 12, Dec. 2022, doi: 10.47191/etj/v7i12.02.
- [14] M. Soltani *et al.*, “Environmental, economic, and social impacts of geothermal energy systems,” Apr. 2021, *Elsevier Ltd.* doi: 10.1016/j.rser.2021.110750.
- [15] SNI 1971:2011, “Cara uji kadar air total agregat dengan pengeringan,” 2011, [Online]. Available: [www.bsn.go.id](http://www.bsn.go.id)