

STUDI PENGARUH VARIASI SUHU KALSINASI TERHADAP KANDUNGAN BATU KAPUR PARENGAN KABUPATEN TUBAN

Toni Budi Santoso^{1*}, M. Zainul Ikhwan², Bella Luthfiani Al Zakina³, Sujiat⁴,
Mrabawani Insan Rendra⁵, Zainuddin⁶

¹²³⁴⁵⁶Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Bojonegoro

*E-mail : prawoto.poni@gmail.com

Abstract

The industrial and construction worlds utilize a lot of limestone from nature as a material. Easy utilization and abundant materials make limestone always attractive. Conventional processing is still a way to utilize limestone. In order to support more optimal utilization, laboratory-scale analysis is carried out. X-Ray Fluorescence (XRF) is an initial analysis to determine the limestone content. Calcination is carried out on limestone with the aim of changing its properties to be reactive with a planned calcination degree of 500°C. The original condition and conventional heating are used as samples as a comparison to the calcined limestone. The test results showed an increase in CaO content of 3% compared to the initial condition of the limestone, while SiO₂ increased by 42%.

Key Words : Calcination, Conventional, Temperature, XRF

1. PENDAHULUAN

Mineral kalsium karbonat (CaCO₃) yang berupa aragonit atau kristal kalsit merupakan penyusun batuan sedimen batu kapur (Dong et al., 2023). Terbentuknya batu kapur berawal dari bawah air laut yang berupa organisme laut seperti karang, moluska dan foraminifera melalui proses pengendapan fragmen. Batu kapur yang keras dan padat terbentuk melalui proses sedimentasi dan diagenesis yang terjadi selama jutaan tahun (Lee et al., 2024). Melalui proses penambangan dan pengolahan batu kapur dapat dimanfaatkan sebagai sumber daya untuk diambil kandungannya. Batu kapur didapat dalam bongkahan kecil melalui proses penambangan. Untuk mendapatkan bongkahan batu kapur yang berukuran kecil lebih mudah menggunakan metode peledakan dengan bahan peledak dibandingkan dengan menggunakan metode secara manual yaitu memahat batu kapur. Penggunaan bahan peledak kemudian memunculkan sebuah masalah, dikarenakan dalam prosesnya

menimbulkan banyak debu dalam lingkungan kerja. Untuk mendapatkan kandungan kalsium pada batu kapur diperlukan sebuah pengolahan terlebih dahulu. Proses awal untuk pengolahan batu kapur adalah dengan pemanasan batu kapur, dengan tujuan memecah kalsium kaarbonat menjadi karbon dioksida (CO₂) dan kapur tohor (CaO). Hasil lain dari proses pemanasan batu kapur adalah terbentuknya gas polutan seperti sulfur dioksida (SO₂), particulate matter (PM) dan nitrogen dioksida (NO₂). Serbuk kapur adalah hasil dari pembakaran bongkahan panas yang disiram dengan air. Karena bentuknya yang berupa serbuk, maka dapat dengan mudah terbawa oleh angin bersamaan dengan gas polutan dari pembakaran karena serbuk memiliki sifat halus dan ringan (Garcia et al., 2022). Dalam industri dan konstruksi, batu kapur sering diaplikasikan dan dimanfaatkan. Batu kapur dalam konstruksi banyak dimanfaatkan dan digunakan sebagai bahan material untuk pembuatan gedung, jembatan dan jalan. Selain

itu batu kapur juga menjadi bahan dasar pembuatan semen dan bahan kimia lainnya (Smadi et al., 2023). Proses produksi dan pemurnian baja juga menggunakan material batu kapur karena kandungan kalsium karbonatnya yang tinggi (Yang et al., 2023).

Industri dan konteks lingkungan menjadikan batu kapur sebagai urgensi yang signifikan. Batu kapur dalam dunia industri menjadi urgensi karena manfaat batu kapur yang bisa dijadikan sebagai produk kimia diantaranya kapur karbonat, kapur sulfat dan kapur tohor (Browne et al., 2023). Kemudian batu kapur digunakan untuk bahan tambahan dalam produksi baja untuk meningkatkan kualitas baja, karena sifatnya yang bisa mengurai dan menghilangkan zat yang tidak diinginkan dari bijih besi terutama pada saat proses peleburan (Ebrahim & Behiry, 2013). Kemudian dalam konstruksi, kapur memiliki berbagai manfaat dalam pembuatan material konstruksi seperti pembuatan semen dan mortar (Frías et al., 2024). Selain itu, dalam bidang geoteknik, kapur sering digunakan sebagai campuran untuk perbaikan tanah. Terutama untuk memperbaiki kestabilan tanah yang kurang padat, kapur membantu dalam proses pengikat tanah, yang meningkatkan kekuatan dan daya dukung tanah (Chen, Zhang, He, et al., 2023). Konstruksi berkelanjutan yang semakin menjadi fokus utama dalam konstruksi, kapur juga menawarkan potensi untuk mengurangi dampak lingkungan dibandingkan dengan material lain (Yuliya et al., 2023). Oleh karena itu, urgensi kapur dalam konstruksi tidak hanya terkait dengan fungsionalitasnya yang tinggi tetapi juga dengan kemampuannya dalam mendukung pembangunan yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan (Muchui Mugambi et al., 2024).

Batu kapur dalam pemakaiannya bisa langsung digunakan atau terlebih dahulu diolah melalui kalsinasi (Kavosh et al., 2015). Pemakaian suhu tinggi pada saat pemanasan dengan terkontrol untuk merubah sifat fisik dan

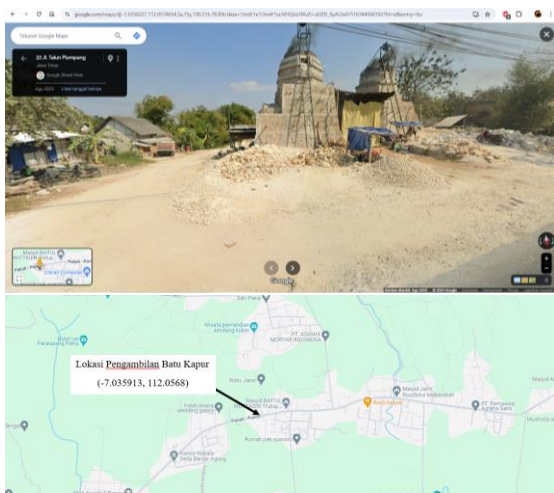
kandungan kimia adalah proses kalsinasi (Sutama & Oemiati, 2022). Salah satu hasil dari kalsinasi adalah terurainya kandungan pada batu kapur menjadi CaO dan CO_2 yang sebelumnya berasal dari CaCO_3 (Smadi et al., 2023). Efek yang ditimbulkan dari proses kalsinasi adalah meningkatnya reaktivitas sehingga beberapa material menjadi lebih reaktif (Sutama et al., 2019). Suhu dan lingkungan harus terkontrol seperti penggunaan oven dengan udara dan gas yang terbatas, guna mendukung proses kalsinasi (Chen, Zhang, Šavija, et al., 2023). Penggunaan suhu pada proses kalsinasi tergantung pada pengaplikasiannya dan produk akhir yang dituju. Umumnya penggunaan suhu antara 900°C - 1000°C (Zhang, Zhao, et al., 2024). Industri kimia dan konstruksi memanfaatkan kandungan batu kapur dari hasil kalsinasi berupa kandungan kalsium oksida (CaO) atau kapur hidrat. Batu kapur mentah bisa dijadikan berbagai produk akhir karena melalui proses kalsinasi terlebih dahulu (Mañosa et al., 2024).

Pemahaman komposisi batu kapur melalui analisis menjadi penting karena dapat membantu analisis awal terhadap kandungan kimia batu kapur tersebut. Pengaruh kualitas dan pengaplikasian batu kapur dapat diketahui dengan melakukan analisis material guna mendapatkan kandungan mineral dan komponen senyawa lainnya, seperti kandungan CaCO_3 , MgCO_3 dan senyawa lainnya yang menjadi penting karena pengaruhnya yang besar terhadap produk akhir yang dituju (Zhang, Wang, et al., 2024). Kemudian peneliti bertujuan untuk menjadikan hasil analisis sebagai inovasi material maju ataupun baru (geopolimer). Penelitian ini menjadi analisis awal sebagai karakterisasi material penyusun terutama dalam *filler* penyusun dalam geopolimer.

2. METODOLOGI

Ukuran sampel material yang digunakan adalah $200\ \mu\text{m}$ dengan pendekatan analisis

yang digunakan melalui uji *X-Ray Fluorescence* dalam skala laboratorium. Kandungan senyawa penyusun material batu kapur adalah tujuan yang ingin diketahui dalam uji laboratorium ini. Melalui analisis material batu kapur ini dapat kemudian dijadikan sebagai pendukung analisis awal untuk dijadikan sebuah produk. Selain itu, dapat juga dijadikan sebagai studi literatur awal untuk penelitian yang berfokus pada material inovatif dari batu kapur. Pengukuran secara spesifik unsur yang terdapat dalam batu kapur seperti Si, Fe, Mg dan Ca dilakukan melalui pendekatan secara kuantitatif. Selain itu, penggunaan pendekatan secara komparatif juga dilakukan, dengan tujuan membandingkan kandungan yang terdapat pada batu kapur melalui pemanasan secara konvensional dan kalsinasi dengan penggunaan suhu 500°C. Laboratorium Fakultas Sains dan Teknik Universitas Bojonegoro menjadi tempat penelitian dengan material batu kapur yang didapat berasal dari Kecamatan Parengan Kabupaten Tuban.



Gambar 1. Lokasi Pengambilan Material Batu Kapur

Daerah Parengan banyak industri batu kapur yang menggunakan pemanasan secara konvensional, untuk itu material melalui pemanasan konvensional diambil dan digunakan sebagai pembanding selain material

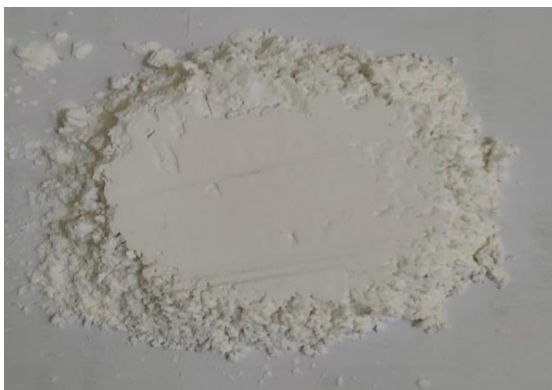
batu kapur asli tanpa ada pengolahan. Material batu kapur yang diolah secara konvensional diambil untuk mengetahui kandungannya. Proses pengambilan material melalui bantuan pihak pengolah batu kapur untuk memastikan material yang diambil sudah melalui proses pemanasan secara konvensional. Material batu kapur yang didapatkan masih berupa bongkahan untuk kemudian diolah menggunakan pemecah (*crusher*) di laboratorium hingga berukuran seperti batu pecah. Setelah itu material batu kapur baru di buat ukuran 200 μm dengan bantuan alat abrasi (*los angeles*).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi batu kapur dan jenis batu kapur yang digunakan sangat mempengaruhi hasil yang didapatkan. Untuk menghasilkan CaO dan CO₂ maka batu kapur (CaCO₃) perlu dipanaskan pada suhu yang tinggi, karena produk utama dari proses kalsinasi batu kapur adalah CaO. Karena sifatnya yang sangat reaktif maka CaO sering diaplikasikan dalam hal pertanian, kimia industri dan dalam dunia teknik sipil digunakan sebagai bahan dasar dari semen. Gas yang terlepas hasil dari pemanasan berupa CO₂ dapat dimanfaatkan dalam industri lain atau bisa langsung dilepaskan ke atmosfer.

Analisis saringan digunakan untuk mendapatkan ukuran yang diinginkan yaitu 200 μm (lolos saringan 200). Ukuran 200 μm didapatkan setelah melalui proses penghalusan menggunakan alat *los angeles*. Waktu yang dibutuhkan untuk menghaluskan material batu kapur dari ukuran seperti batu pecah menjadi halus selama 8 jam. Penghalusan batu kapur bertujuan karena dalam penggunaan dan pemanfaatannya yang lebih efisien, batu kapur banyak dipakai dalam ukuran halus seperti pada semen. Selain itu, untuk mendukung hasil yang lebih efisien pada pengujian XRF dalam membaca kandungan kapur maka batu kapur perlu dihaluskan terlebih dahulu. Batu kapur yang halus juga dapat meningkatkan

reaktivitas. Proses kalsinasi kemudian dapat lebih efisien karena membutuhkan lebih sedikit energi dan waktu karena panas dapat terserap secara merata dalam keadaan material halus.



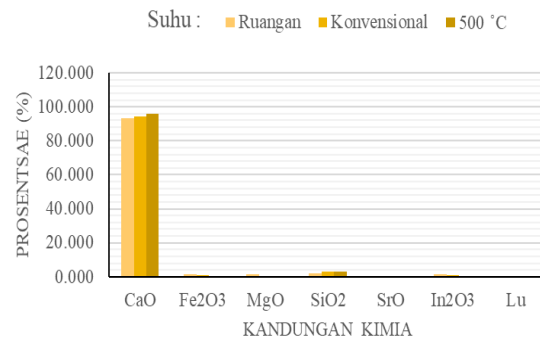
Gambar 2. Batu Kapur 200 μm

Tabel 1. Kandungan Batu Kapur Melalui Uji XRF

Pemanasan	Ruangan (%)	Konvensio nal (%)	500°C (%)
CaO	93,100	94,230	96,004
Fe ₂ O ₃	1,380	0,910	0,138
MgO	1,510	0,430	0,214
SiO ₂	2,210	3,210	3,137
SrO	0,254	0,200	0,019
In ₂ O ₃	1,406	1,000	0,438
Lu	0,140	0,110	0,050

Uji XRF batu kapur dengan keadaan asli belum melalui proses pemanasan atau pengolahan didapatkan hasil kandungan paling tinggi pada CaO sebesar 93,10%. Kemudian beberapa kandungan seperti Fe₂O₃, In₂O₃ dan MgO sebanyak 1% hingga 2%. Sedangkan kandungan yang dibawah 1% adalah SrO dan Lu. Kandungan sebesar 2,21% pada batu kapur adalah senyawa SiO₂. Kandungan batu kapur kemudian mengalami perubahan prosentase kandungan kimia setelah melalui pemanasan secara konvensional. Perubahan terjadi pada kandungan CaO dan SiO₂ yang mengalami kenaikan masing-masing 94,23% dan 3,12%. Kandungan Fe₂O₃, MgO, CaO, SrO, In₂O₃ dan Lu justru mengalami penurunan prosentase kandungan. Material batu kapur yang melalui

proses kalsinasi dengan suhu yang direncanakan 500°C menghasilkan kandungan CaO sebesar 96,00%, sedangkan kandungan SiO₂ didapatkan sebesar 3,14%. Seperti halnya pemanasan secara konvensional, batu kapur dengan proses kalsinasi juga mengalami penurunan sebesar 1% terjadi pada kandungan Fe₂O₃, MgO, CaO, SrO, In₂O₃ dan Lu.



Gambar 3. Prosentase Kandungan Batu Kapur

Kandungan CaO adalah kandungan yang mendominasi pada batu kapur (Gambar 3). Penyebab kandungan CaO menjadi tinggi dikarenakan pemanasan dengan suhu tinggi terhadap CaCO₃ yang menghasilkan CaO dan CO₂.

Kondisi operasional dan sifat material menjadi faktor yang mempengaruhi terbentuknya CaO akibat dari kalsinasi batu kapur (CaCO₃). Suhu dikisaran 900°C - 1000°C adalah suhu yang dipakai untuk mendapatkan hasil kalsinasi yang optimal. Karena keterbatasan alat kalsinasi yang digunakan pada laboratorium hanya bisa mencapai maksimum 500°C, maka suhu tersebutlah yang dipakai untuk penelitian ini. Sebagai akibat dari pemakaian suhu yang tidak optimal maka proses kalsinasi tidak dapat berlangsung secara sepenuhnya sehingga masih terdapat residu pada CaCO₃. Pemakaian suhu tinggi yang tidak sesuai dengan kebutuhan juga dapat mengurangi reaktivitas batu kapur dan menyebabkan struktur CaO mengalami penyusutan.

Proses kalsinasi terjadi secara penuh dapat dicapai dengan pengaturan waktu secara tepat.

Penggunaan waktu yang lama secara tepat untuk memastikan proses pemanasan terjadi secara merata dan menyeluruh ke bagian material. Akan tetapi, penggunaan waktu yang lama tanpa perencanaan secara matang dan tepat justru mengakibatkan rusaknya batu kapur menjadi sulit larut dalam air karena sudah mati. Proses kalsinasi juga dipengaruhi seberapa besar ukuran material yang dikalsinasi, partikel material yang lebih kecil dan halus memungkinkan kalsinasi terjadi secara efisien karena memiliki permukaan yang lebih luas dan lebar. Sebaliknya, partikel batu kapur yang memiliki luas penampang kecil atau masih dalam bongkahan menyebabkan proses pemanasan menjadi terhambat karena harus menyebarkan panas hingga ke bagian dalam bongkahan. Kalsium karbonat (CaCO_3) pada batu kapur yang tinggi menjadikan sifat batu kapur lebih reaktif. Kandungan MgCO_3 , SiO_2 , Al_2O_3 adalah pengotor pada kapur yang dapat mempengaruhi proses kalsinasi dan kualitas kapur. Reaksi menjadi cepat pada suhu lebih rendah dapat dilakukan dengan kalsinasi dibawah tekanan rendah atau vakum yang menurunkan suhu dekomposisi CaCO_3 selain dilakukan dengan tekanan atmosfer. Kualitas produk batu kapur menjadi optimal dan efisien pada proses kalsinasi dengan memperhatikan faktor-faktor tersebut.

Tabel 2. Kenaikan dan Penurunan Kandungan Batu Kapur

Suhu	Konvensional (%)	500°C (%)
CaO	1	2
Fe_2O_3	-34	-85
MgO	-72	-50
SiO_2	41	1
SrO	-21	-91
In_2O_3	-29	-56
Lu	-21	-55

Akibat dari kenaikan prosentase CaO melalui proses pemanasan, banyak kemudian industri memanfaatkan batu kapur. Batu kapur melalui proses kalsinasi mengalami kenaikan sebesar 3% dibandingkan batu kapur normal

atau pemanasan secara konvensional. Kenaikan kandungan CaO terjadi pada proses kalsinasi, dan penggunaan suhu yang lebih tinggi dari 500°C memungkinkan kenaikan kandungan yang lebih besar lagi. Kandungan CaO menjadi penting karena kandungan tersebutlah yang banyak dicari dari batu kapur seperti semen yang memanfaatkan kandungan tersebut. SiO_2 adalah kandungan batu kapur yang mengalami kenaikan paling besar yaitu mencapai 42%.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis uji XRF, batu kapur memiliki kandungan paling besar CaO baik dalam keadaan normal atau setelah melalui proses kalsinasi. Penggunaan suhu pemanasan dapat meningkatkan kandungan batu kapur terutama pada CaO dan SiO_2 . Peningkatan CaO dan SiO_2 masing-masing 1% dan 41% akibat pemanasan secara konvensional dibandingkan batu kapur asli yang belum mengalami pemanasan dan masih terjaga dalam suhu ruangan. Kemudian, proses kalsinasi batu kapur mengakibatkan kenaikan kandungan CaO dan SiO_2 sebesar 2% dan 1% dibandingkan dengan batu kapur yang dipanaskan secara konvensional.

REFERENSI

- Browne, D. E., Peverall, R., Ritchie, G. A. D., & Viles, H. A. (2023). Direct monitoring of drying kinetics of building limestones using cavity ring-down spectroscopy. *Construction and Building Materials*, 369(February), 130554. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.130554>
- Chen, Y., Zhang, Y., He, S., Liang, X., Schlangen, E., & Çopuroğlu, O. (2023). Improving structural build-up of limestone-calcined clay-cement pastes by using inorganic additives. *Construction and Building Materials*, 392(June), 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.131959>
- Chen, Y., Zhang, Y., Šavija, B., & Çopuroğlu, O. (2023). Fresh properties of limestone-calcined clay-slag cement pastes. *Cement and Concrete Composites*, 138(February)

- <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2023.104962>
- Dong, G., Liu, X., Yin, L., Fu, X., Song, J., Zhao, X., & Pei, W. (2023). Development characteristics and genetic analysis of dense limestone reservoirs in the Taiyuan Formation of the Ordos Basin, China. *Journal of Natural Gas Geoscience*, 8(5), 307–317. <https://doi.org/10.1016/j.jnggs.2023.09.002>
- Ebrahim, A., & Behiry, A. E. (2013). Evaluation of steel slag and crushed limestone mixtures as subbase material in flexible pavement. *Ain Shams Engineering Journal*, 4(1), 43–53. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2012.07.006>
- Frías, M., Guerrero, A., Monasterio, M., Insignares, Á., & Sánchez de Rojas, M. I. (2024). Viability of using limestone concrete waste from CDW to produce ternary cements type LC3. *Construction and Building Materials*, 411(June 2023). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.134362>
- Garcia, J. E., Tiburzi, N. B., Folliard, K. J., & Drimalas, T. (2022). Mechanical properties and electrical resistivity of portland limestone cement concrete systems containing greater than 15% limestone and supplementary cementitious materials. *Cement*, 8(March), 100026. <https://doi.org/10.1016/j.cement.2022.100026>
- Kavosh, M., Patchigolla, K., Oakey, J. E., Anthony, E. J., Champagne, S., & Hughes, R. (2015). Pressurised calcination-atmospheric carbonation of limestone for cyclic CO₂ capture from flue gases. *Chemical Engineering Research and Design*, 102, 116–123. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2015.06.024>
- Lee, J., Lothenbach, B., & Moon, J. (2024). Performance improvement of Portland-limestone cement by mechanochemical activation. *Cement and Concrete Research*, 176(November 2023), 107411. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2023.107411>
- Mañosa, J., Calderón, A., Salgado-Pizarro, R., Maldonado-Alameda, A., & Chimenos, J. M. (2024). Research evolution of limestone calcined clay cement (LC3), a promising low-carbon binder – A comprehensive overview. *Heliyon*, 10(3). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25117>
- Muchui Mugambi, L., Mujombi, S., Mutai, V., Ratumo Toeri, J., Mwitii Marangu, J., & Valentini, L. (2024). Potential of Limestone Calcined Clay Cement (LC3) in soil stabilization for application in roads and pavements construction. *Case Studies in Construction Materials*, 21(April). <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e03706>
- Smadi, E., Chinnici, A., Dally, B., & Nathan, G. J. (2023). Effect of heating rate on the kinetics of limestone calcination. *Chemical Engineering Journal*, 475(August), 146165. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2023.146165>
- Sutama, A., & Oemiati, N. (2022). Studi Mikrostruktur Beton Ringan Geopolimer Dengan Scanning Electron Microscope (SEM) Dan X-Ray Diffraction (XRD). *Jurnal Deformasi*, 7(2), 145–160. <https://doi.org/https://doi.org/10.31851/deformasi.v7i2.9387>
- Sutama, A., Saggaff, A., Saloma, & Hanafiah. (2019). Properties And Microstructural Characteristics Of Lightweight Geopolymer Concrete With Fly Ash And Kaolin. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 8(07), 57–64. <https://www.ijstr.org/paper-references.php?ref=IJSTR-0619-20484>
- Yang, Z., Zhang, W., Zhu, H., Chen, Y., Xu, L., Wang, P., & Lai, Y. (2023). Thauasite form of sulfate attack in ettringite rich-ternary systems: Effects of limestone filler, etching solutions and exposure temperature. *Developments in the Built Environment*, 15(August), 100208. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2023.100208>
- Yuliya, B., Ruslan, I., Evgenij, K., Ilgam, K., & Laysan, K. (2023). Low-temperature calcination composite binder from dolomite and its application to facing board materials. *Case Studies in Construction Materials*, 19(June), e02338. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02338>
- Zhang, W., Wang, J., & Chen, Z. (2024). Hydration kinetics, strength, autogenous shrinkage, and sustainability of cement pastes incorporating ultrafine limestone powder. *Case Studies in Construction Materials*, 20(April), e03149. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e03149>
- Zhang, W., Zhao, M., Yang, Z., Guo, R., Wang, X. Y., & Lin, R. S. (2024). Properties of red sandstone-limestone-cement ternary composites: Hydration mechanism, microstructure, and high-temperature damage. *Developments in the Built Environment*, 17(October 2023), 100346. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2024.100346>