

Pemanfaatan Natrium Karbonat Na_2CO_3 Sebagai Alternatif Alkali Aktivator Untuk Pembuatan Semen Geopolimer Berbasis Tanah Napa

Annisya Okta Chania¹, Mawardi Mawardi²

¹²Program Studi Kimia, Universitas Negeri Padang
e-mail: annisyachania@student.unp.ac.id mawardianwar@fmipa.unp.ac.id

Abstrak

Semen Portland, banyak digunakan dalam konstruksi, memiliki dampak lingkungan besar karena emisi CO_2 . Sebagai alternatif, semen geopolimer ramah lingkungan dikembangkan, tidak memerlukan suhu tinggi. Geopolimer, polimer anorganik dari mineral aluminasilika dan larutan alkali, mempunyai stabilitas termal tinggi, kekuatan mekanik baik, dan emisi CO_2 rendah. Penelitian ini mengevaluasi penggunaan natrium karbonat (Na_2CO_3) sebagai alkali aktivator dalam pembuatan semen geopolimer berbasis tanah napa. Metodenya: preparasi tanah napa dan pembuatan sampel semen. Hasilnya menunjukkan konsentrasi Na_2CO_3 hingga 5M meningkatkan kehalusan partikel semen, kehalusan maksimum 880 m^2/kg . Analisis FTIR mengidentifikasi gugus silanol dan siloksan penting dalam pembentukan struktur geopolimer. Na_2CO_3 dengan konsentrasi 4M punya kandungan silika tertinggi, memenuhi standar SNI 2015.

Kata Kunci: *Alkali Aktivator, Geopolimer, Natrium Karbonat, Tanah Napa*

Abstract

Portland cement, widely used in construction, has a significant environmental impact due to CO_2 emissions. As an alternative, environmentally friendly geopolymers are being developed, requiring no high temperatures. Geopolymers, inorganic polymers made from aluminosilicate minerals and alkali solutions, offer high thermal stability, good mechanical strength, and low CO_2 emissions. This study evaluates the use of sodium carbonate (Na_2CO_3) as an alkali activator in the production of soil-based geopolymers. The method involves preparing the soil and making cement samples. The results show that Na_2CO_3 concentrations up to 5M increase the particle fineness of the cement, with a maximum fineness of 880 m^2/kg . FTIR analysis identifies important silanol and siloxane groups in geopolimer structure formation. Na_2CO_3 with a concentration of 4M has the highest silica content, meeting the 2015 SNI standard.

Keywords : *Alkali Activator, Geopolymer, Napa Soil, Sodium Carbonate*

PENDAHULUAN

Semen umumnya digunakan sebagai zat perekat. Namun, semen juga bisa diartikan sebagai bahan pengikat yang diperlukan dalam konstruksi bangunan. Semen berbentuk bubuk halus yang akan mengeras jika ditambahkan dengan air. Kekerasan yang dihasilkan itu disebabkan karena hidrasi. Hidrasi merupakan pembentukan kristal submikroskopik seperti gel akibat reaksi kimia dari campuran air dan senyawa semen. Salah satu jenis semen, yakni semen portland (Mason & Lea, 2022).

Semen Portland adalah semen hidrolisis dari campuran *lime stone* dan *clay* yang dikalsinasi pada suhu tinggi mencapai 1500°C pada kiln. Semen Portland memiliki keuntungan yakni dalam biaya produksi yang tidak terlalu mahal namun juga memiliki kekurangan yakni dapat mengakibatkan *global warming* karena pelepasan gas karbon dioksida (CO₂) ke atmosfer (Singh 2018).

Menurut Luukkonen dkk. (2018), semen portland berkontribusi 8% dari total gas CO₂ yang lepas ke atmosfer akibat aktivitas manusia. Proses pengapuran semen adalah penyebab utama polusi ini. Menurut Mikuli dkk. (2012), pada proses kalsinasi akan terjadi perubahan kalsium karbonat (CaCO₃) menjadi kalsium oksida (CaO) dan karbon dioksida (CO₂) yang menghasilkan abu terbang (*fly ash*), sebagai produk samping pembakaran dari batu bara ini. *Fly ash* ini dapat digunakan untuk membuat beton geopolimer dimana beton ini tidak membutuhkan semen. Menurut Shah dkk. (2020), *fly ash* mengandung silika dan alumina, bahan ini dapat berfungsi sebagai pengganti semen portland.

Geopolimer merupakan polimer anorganik yang diproduksi dari mineral aluminasilika dengan larutan alkali aktivator pada suhu kamar atau yang lebih tinggi. Polimer ini dapat digunakan sebagai pengganti atau pelengkap semen portland dalam konstruksi sipil. Pada pembuatan geopolimer tidak membutuhkan suhu tinggi sehingga resiko terbentuknya bahan CO₂ rendah dari pada semen portland. Semen geopolimer disintesis dengan mereaksikan mineral alumina silika dengan larutan alkali sebagai komponen aktif dan menghasilkan material pasta geopolimer dengan intensitas mengikat seperti *slurry*.

Indonesia disebut negara dengan mineral dan batuan yang berlimpah karena banyaknya dataran tinggi dan perbukitan. Batuan yang kaya mineral ini jarang dipakai dalam kehidupan sehari-hari atau sebagai bahan bangunan komersial. Salah satunya yakni tanah napa. Tanah napa merupakan tanah yang terbentuk dari hasil batuan feldpatik yang lapuk akibat gaya eksogen kerak sehingga bergeser dari batu induknya. Untuk mengidentifikasinya dari bentuk tanah lainnya, tanah napa memiliki karakteristik berwarna abu-abu kecoklatan dan terdiri dari banyak lapisan.

Tanah napa banyak ditemukan di berbagai daerah di Sumatera Barat. Tanah napa merupakan kelompok mineral alumina silika dengan tatanan utama kaolin dan kauarsa. Di Sumatera Barat, pemanfaatan tanah napa tergolong rendah bahkan tidak memiliki nilai ekonomis. Diantara sekian banyak kegunaan tanah napa, sebagian besarnya di manfaatkan sebagai obat sakit perut dan diare. Jadi, perlu dilakukan penelitian tentang geopolimer yang berasal dari tanah napa untuk membuat tanah

napa diminati dan menguntungkan. Tanah napa termasuk kelompok mineral alumina silika dengan perbandingan $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ berkisar antara 1.25-3.43. Tanah napa mempunyai kandungan rata-rata SiO_2 ; Al_2O_3 ; Fe_2O_3 ; TiO_2 ; K_2O ; TiO_2 ; dan CaO dengan persentase berturut-turut sebesar 70,43%; 20,52%; 3,67%; 0,40%; 1,26%; dan 2,70% (Mawardi et al., 2018).

Penelitian ini fokus pada penggunaan natrium karbonat (Na_2CO_3) sebagai alternatif alkali aktivator dalam pembuatan semen geopolimer berbasis tanah napa. Natrium karbonat dipilih karena kemampuannya menghasilkan gel silika yang lebih banyak, yang dapat meningkatkan kualitas beton geopolimer. Variasi konsentrasi Na_2CO_3 diuji untuk menentukan karakteristik terbaik dari semen geopolimer yang dihasilkan, dengan parameter pengujian meliputi XRF, FTIR, dan luas permukaan semen (*blaine*).

METODE

Preparasi Tanah Napa

Tanah Napa dihancurkan menggunakan palu hingga menjadi kerikil, kemudian dijemur selama 8 jam di bawah matahari. Setelah kering, sampel dihaluskan menggunakan *crusher* sampai menjadi serbuk dan diayak menggunakan ayakan berukuran 45 μm . Hasil ayakan tersebut kemudian dipanaskan selama 4 jam dalam tungku bersuhu 750°C.

Persiapan Sampel Semen

Persiapan sampel ini dilakukan dengan 2 tahap yaitu :

1. Pembuatan Larutan Alkali

Larutan Na_2CO_3 dibuat dengan berbagai variasi konsentrasi (3M, 4M, 5M, 6M) kemudian didinginkan hingga suhu kamar. Setiap variasi larutan Na_2CO_3 kemudian dicampurkan dengan Na_2SiO_3 dan didinginkan pada suhu ruang sehingga terbentuk alkali aktivator.

2. Pembuatan Adonan Geopolimer

Adonan geopolimer dibuat dengan mencampurkan tanah Napa yang telah dikalsinasi dengan campuran larutan Na_2CO_3 dan Na_2SiO_3 . Pengadukan dilakukan menggunakan mixer selama 3-5 menit hingga membentuk slurry. Adonan tersebut kemudian dimasukkan ke dalam cetakan dan dilakukan pre-curing pada lingkungan ambient selama 2x24 jam. Cetakan ditutup dengan aluminium foil untuk menghindari kontak dengan udara. Setelah itu, adonan dicuring selama 8 jam pada suhu 80°C dalam furnace. Semen yang telah padat kemudian dihancurkan hingga halus.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis XRF

Hasil analisis senyawa kimia pada semen geopolimer berbasis tanah napa dengan penambahan variasi Na_2CO_3 sebagai alkali aktivator ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 1 Hasil analisis senyawa kimia dengan variasi Na_2CO_3

Sampel	Kadar (%)							
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	Na_2O	K_2O
SG3	43,82	12,66	2,02	0,4	0,36	0,02	14,64	0,8
SG4	46,31	11,91	1,9	0,41	0,35	0,02	14,75	0,74
SG5	44,13	13,04	2,07	0,84	0,38	0,02	14,44	0,81
SG6	42,69	12,39	1,99	0,43	0,35	0,02	15,55	0,78

Keterangan:

SG3 = semen geopolimer dengan konsentrasi 3M

SG4 = semen geopolimer dengan konsentrasi 4M

SG5 = semen geopolimer dengan konsentrasi 5M

SG6 = semen geopolimer dengan konsentrasi 6M

Tabel menunjukkan bahwa kandungan utama dari semen geopolimer adalah senyawa oksida Silika (SiO_2) dan Alumina (Al_2O_3). Kedua senyawa ini berperan sebagai prekursor yang mengalami reaksi polikondensasi dengan larutan basa kuat membentuk geopolimer yang memiliki kemampuan sebagai perekat sehingga material ini dapat digunakan pada aktivitas konstruksi. Tabel juga menunjukkan bahwa variasi konsentrasi Na_2CO_3 mengakibatkan variasi kadar SiO_2 dan Al_2O_3 dalam semen geopolimer tersebut. Tabel menunjukkan bahwa pada konsentrasi 4M Na_2CO_3 dalam semen geopolimer berbasis tanah napa kandungan silika (SiO_2) tertinggi. Hal ini disebabkan oleh Na_2CO_3 pada konsentrasi 4M dalam pembentukan semen geopolimer merupakan konsentrasi optimum dalam penambahan Na_2CO_3 , maka kandungan silika dalam semen geopolimer yang dihasilkan menjadi tertinggi.

Selain SiO_2 dan Al_2O_3 , senyawa lain yang memiliki kandungan cukup besar dalam semen geopolimer berbasis tanah napa ini adalah Fe_2O_3 dengan persentase 1,99%. Selanjutnya yaitu CaO dan MgO dengan presentase rata-rata 0,52% dan 0,36%.

Kadar MgO dalam standar semen yang diperbolehkan yaitu sekitar $\leq 6.0\%$ (SNI 2015). Apabila kadar senyawa ini besar dari 6.0%, maka dapat mempengaruhi kualitas dari semen yang dihasilkan dan berwujud *periclase* atau *free MgO*. *Periclase* dalam semen dapat bereaksi dengan air membentuk $\text{Mg}(\text{OH})_2$. Reaksi ini apabila berkelanjutan dapat meningkatkan volume $\text{Mg}(\text{OH})_2$ sehingga menyebabkan keretakan pada beton yang dihasilkan. Secara umum komposisi senyawa MgO dalam semen geopolimer berbasis tanah napa ini masih jauh dari kadar maksimum persentase MgO yang disyaratkan oleh semen standar.

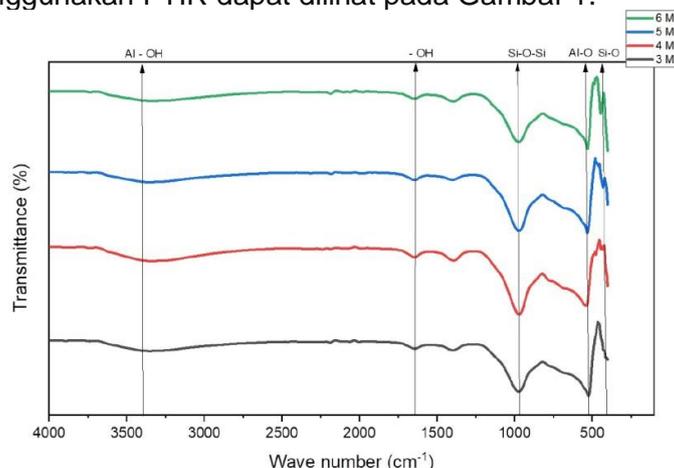
Selain itu, semen geopolimer berbasis tanah napa juga mengandung oksida alkali berupa Na_2O dan K_2O dengan presentase masing-masing 14,84% dan 0,78%. Persentase Na_2O pada semen geopolimer jauh lebih tinggi dibandingkan dengan persentase Na_2O pada tanah napa yang persentasenya hanya 0,13%. Hal ini dikarenakan adanya penambahan Na_2SiO_3 dan Na_2CO_3 saat pembuatan campuran geopolimer. Akan tetapi, alkali oksida ini tidak terlalu berpengaruh dalam semen dan

hanya berperan sebagai fluks saja. Itu sebabnya tidak semua standar yang mensyaratkannya (Badan Standardisasi Nasional, 2015).

Senyawa oksida belerang tidak berpengaruh dalam pembentukan mineral potensial pembentukan semen. Sementara FCAO merupakan CaO yang tidak berikatan dengan senyawa lain, yang biasa disebut juga sebagai CaO bebas. CaO jika berikatan dengan molekul air di udara, dapat membentuk $\text{Ca}(\text{OH})_2$ sehingga dapat menimbulkan keretakan pada beton atau mortar. Akan tetapi, dalam semen geopolimer ini, persentase SO_3 dan FCAO sedikit yaitu 0,02% dan 0% sehingga tidak perlu dikhawatirkan akan mempengaruhi kualitas mortar atau beton.

B. Analisis FTIR

Karakterisasi menggunakan FTIR (Fourier Transform Infra Red) dilakukan untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang terdapat pada silika dan alumina dari semen geopolimer berbasis tanah napa dengan perlakuan variasi konsentrasi Na_2CO_3 yang digunakan. Analisis menggunakan FTIR didasarkan pada prinsip vibrasi molekul yang terjadi didaerah inframerah dan spektrum elektromagnetik serta gugus fungsi. Dalam penelitian ini digunakan rentang bilangan gelombang 4000-400 cm^{-1} . Hasil karakterisasi menggunakan FTIR dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Karakterisasi FTIR Terhadap Semen Geopolimer

Berdasarkan Gambar 1, hasil karakterisasi FTIR pada silika dari semen geopolimer berbasis tanah napa dengan perlakuan variasi konsentrasi Na_2CO_3 yang digunakan terdapat puncak serapan pada bilangan gelombang 3321-3361 cm^{-1} ; 2061-2092 cm^{-1} ; 1643-1645 cm^{-1} ; 971-973 cm^{-1} ; 523-538 cm^{-1} dan 411-445 cm^{-1} .

Puncak serapan pada bilangan gelombang kisaran 2800-3750 cm^{-1} menunjukkan adanya vibrasi ulur gugus hidroksil $-\text{OH}$ dari gugus silanol ($\text{Si}-\text{OH}$). Puncak serapan pada bilangan gelombang 2000-2400 cm^{-1} menunjukkan keberadaan vibrasi tekuk $\text{Si}-\text{O}$ dari gugus siloksan ($\text{Si}-\text{O}-\text{Si}$). Puncak serapan pada bilangan gelombang 1643-1645 cm^{-1} menunjukkan keberadaan vibrasi ulur dari gugus fungsi hidroksil ($-\text{OH}$) dari air ($\text{H}-\text{O}-\text{H}$). puncak serapan pada bilangan gelombang 1013,66 cm^{-1} menunjukkan keberadaan ikatan terkuat dari gugus fungsi siloksan ($\text{Si}-\text{O}-\text{Si}$)

(Mujiyanti et al., 2021). Selanjutnya yakni puncak serapan pada bilangan gelombang 971-973 cm^{-1} ; dan 523-538 cm^{-1} menunjukkan keberadaan vibrasi ulur dan vibrasi tekuk gugus fungsi Si-O dari gugus fungsi siloksan (Si-O-Si). Hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilaporkan oleh Fatony et al., (2015).

Menurut Yuanita (2020), vibrasi ulur gugus fungsi hidroksil (-OH) dari gugus fungsi silanol (Si-OH) berada pada bilangan gelombang dengan rentang 3.700-3.200 cm^{-1} . Pada rentang bilangan gelombang 3.200-1.600 cm^{-1} merupakan vibrasi ulur gugus fungsi hidroksil (-OH) dari air (HO-H). Pada rentang bilangan gelombang 1.110-830 cm^{-1} merupakan keberadaan ikatan terkuat dari gugus fungsi siloksan (Si-O-Si). Pada rentang bilangan gelombang 800-500 cm^{-1} merupakan vibrasi ulur dan vibrasi tekuk gugus fungsi Si-O dari gugus fungsi siloksan (Si-O-Si). Berdasarkan penelitian yang dilakukan Bathla et al., (2018) mengenai sintesis dan karakterisasi silika dari abu sekam.

Hasil karakterisasi FTIR pada semen geopolimer berbasis tanah napa menunjukkan bahwa silika yang diperoleh memiliki sisi aktif berupa gugus fungsi silanol (Si-OH) dan gugus fungsi siloksan (Si-O-Si). Hal ini dapat dilihat pada gugus fungsi hidroksil (-OH) yang merupakan vibrasi ulur dari gugus fungsi siloksan (Si-OH), gugus fungsi hidroksil (-OH) yang merupakan vibrasi ulur dari air (H-O-H), gugus fungsi siloksan (Si-O-Si), dan gugus fungsi Si-O yang merupakan vibrasi ulur dan vibrasi tekuk dari gugus fungsi siloksan (Si-O-Si).

Terdapat beberapa puncak serapan yang muncul dalam spektrum infra merah disetiap variabel bebas yang ditetapkan. Pada bilangan gelombang 4000 – 1250 cm^{-1} menunjukkan adanya pita serapan vibrasi gugus -OH yang mengikat atom Al oktahedral, dimana pada daerah bilangan gelombang 3321, 3346, 3352 dan 3361 cm^{-1} menunjukkan adanya pita serapan vibrasi ulur -OH, sedangkan pada daerah bilangan gelombang 1644 cm^{-1} menunjukkan adanya pita serapan vibrasi tekuk -OH (Sushil & Batra, 2008). Pita IR vibrasi ulur -OH terdapat pada daerah bilangan gelombang 3361 cm^{-1} dan pita IR vibrasi tekuk -OH juga terdapat pada daerah bilangan gelombang 1644 cm^{-1} (Nayak dan Singh, 2007).

Daerah bilangan gelombang antara 3700 – 3400 cm^{-1} merupakan puncak serapan gugus -OH dari molekul air (vibrasi ulur -OH). Puncak vibrasi ulur -OH dari molekul air juga muncul pada daerah bilangan gelombang 1643 cm^{-1} hingga 1645 cm^{-1} (Nayak dan Singh, 2007). Vibrasi ulur ikatan Al-O muncul pada daerah bilangan gelombang 850 – 650 cm^{-1} yang memiliki rentangan simetris (Sunardi dkk., 2010). Berdasarkan pernyataan peneliti tersebut, serapan yang muncul pada bilangan gelombang antara 1000 – 435 cm^{-1} menyatakan bahwa adanya bentuk alfa alumina (α - Al_2O_3) yang terletak pada bilangan gelombang 758 cm^{-1} menandakan adanya ikatan vibrasi ulur dari Al-O. Selain adanya vibrasi ulur, puncak serapan vibrasi tekuk Al-O juga terdapat pada daerah bilangan gelombang 500 – 420 cm^{-1} , sedangkan puncak serapan 420-300 cm^{-1} adanya pori terbuka pada kristal (Sunardi dkk, 2010). Berdasarkan beberapa literatur, menyebutkan bahwa puncak serapan vibrasi ulur dan tekuk Al-O terdapat pada daerah bilangan gelombang 738 cm^{-1} dan 620 cm^{-1} (Ramli dan Saleh, 2014). Sedangkan pada literatur yang lain, menyebutkan puncak serapan

IR muncul pada daerah bilangan gelombang 775 cm^{-1} dan 590 cm^{-1} merupakan vibrasi ulur dan tekuk Al-O.

C. Analisis Kehalusan Butiran Semen (Blaine)

Kehalusan semen adalah salah satu syarat mutu fisika semen karena akan menentukan luas permukaan partikel-partikel semen saat hidrasi. Semakin halus semen maka kekuatan, panas hidrasi dan kebutuhan air persatuan luas akan semakin tinggi, serta reaksi hidrasi akan semakin cepat. Namun jika semen memiliki kehalusan butiran yang lebih kasar maka proses hidrasi akan berlangsung lambat dengan waktu pengikatan yang semakin lama.

Blaine digunakan untuk mengukur partikel berdasarkan sifat porositas semen atau perbandingan volume rongga didalam semen. *Blaine* juga mempengaruhi kuat tekan dimana semakin tinggi kehalusan maka semakin tinggi kuat tekan karena partikel semen yang semakin halus akan menutup pori-pori permukaan mortar sehingga kuat tekannya tinggi. Analisis kehalusan partikel semen geopolimer dilakukan dengan menggunakan instrumen Blaine yang diatur dalam Standar Nasional Indonesia SNI 2049:2015. Hasil analisis kehalusan butiran semen pada semen geopolimer berbasis tanah napa dengan variasi Na_2CO_3 sebagai alkali aktivator ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 2 Hasil Uji Blaine

No	Sampel	Hasil Uji <i>Blaine</i> (m^2/kg)
1	SG3	541
2	SG4	652
3	SG5	880
4	SG6	578

Tabel menunjukkan bahwa kehalusan semen bervariasi sesuai dengan variasi Na_2CO_3 sebagai alkali aktivator. Jika nilai kehalusan butiran semen sama atau hampir sama maka dapat dijadikan acuan untuk menganalisis karakteristik semen yang lain seperti waktu pengikatan dan konsistensi normal. Kehalusan butiran dari geopolimer meningkat dengan bertambahnya konsentrasi aktivator, sehingga waktu penggilingan yang dibutuhkan juga semakin lama untuk memperoleh nilai kehalusan butiran semen yang hampir sama.

Pengaruh Na_2CO_3 sebagai alkali aktivator dalam semen geopolimer terhadap kehalusan butiran semen ditunjukkan pada gambar. Kehalusan partikel semen dan luas permukaan semen meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi Na_2CO_3 . Namun dalam penelitian ini kehalusan partikel semen menurun pada konsentrasi 6M. Kehalusan maksimum didapatkan pada Na_2CO_3 dengan konsentrasi 5M yaitu sebesar $880\text{ m}^2/\text{kg}$. Kehalusan semen geopolimer berbasis tanah napa Pesisir Selatan ini memenuhi standar semen (SNI 2015) yang minimal kehalusan semen yaitu $280\text{ m}^2/\text{kg}$.

Kehalusan butiran semen ini merupakan karakteristik semen yang sangat berpengaruh terhadap karakteristik semen lainnya salah satunya yaitu kuat tekan (Wijaya, et. al. 2017). Semakin halus butiran semen, maka akan meningkatkan kekerasan dari pasta yang dihasilkan.

SIMPULAN

Variasi konsentrasi Na_2CO_3 mempengaruhi kadar SiO_2 dan Al_2O_3 dalam semen geopolimer, dengan konsentrasi 4M menghasilkan kandungan SiO_2 tertinggi. Kehalusan butiran semen meningkat dengan naiknya konsentrasi Na_2CO_3 hingga 5M, mencapai kehalusan maksimum 880 m^2/kg , tetapi menurun pada 6M. FTIR menunjukkan adanya gugus silanol, hidroksil dari air, siloksan, vibrasi tekuk Si-O, dan vibrasi Al-O pada berbagai bilangan gelombang. Hasil ini menunjukkan bahwa 4M Na_2CO_3 adalah konsentrasi optimal untuk pembentukan semen geopolimer dengan karakteristik fungsional yang baik dan kehalusan yang memenuhi standar SNI 2015.

DAFTAR PUSTAKA

- Fatony, M. H. A., Haryati, T., & Mintadi, M. (2015). "Ekstraksi Silika Dari Fly Ash Batubara." *Prosiding Seminar Nasional Kimia*, 54–59.
- Mason and Lea.2022. "Cement". *Britannica*
- Luukkonen, T., Abdollahnejad, Z., Yliniemi, J., Kinnunen, P., and Illikainen, M. (2018). "One-part Alkali-Activated Materials: A Review." *Cement and Concrete Research*. Vol. 103, 21–34.
- Mikulčić, H., von Berg, E., Vujanović, M., Priesching, P., Perković, L., Tatschl, R., and Duić, N. (2012). "Numerical Modelling of Calcination Reaction Mechanism for Cement Production." *Chemical Engineering Science*. Vol. 69, No. 1, 607–615.
- Mawardi. 2018. "Characterization of PCC Cement by Addition of Napa Soil from Subdistrict Sarilamak 50 Kota District as Alternative Additional Material for Semen Padang Characterization of PCC Cement by Addition of Napa Soil from Subdistrict Sarilamak 50 Kota District As."
- Mujiyanti, D. R., Ariyani, D., & Paujiah, N. (2021). "Kajian Variasi Konsentrasi Naoh Dalam Ekstraksi Silika Dari Limbah Sekam Padi Banjar Jenis Pandak." *Jurnal Sains Dan Terapan Kimia*, 15(2), 143. <https://doi.org/10.20527/jstk.v15i2.10373>
- Nayak, P. S., dan Singh, B. K. (2007). "Instrumental Characterization of Clay by XRF, XRD and FTIR." *Bull. Mater. Sci.*, 30(3), 235–238.
- Ramli, Z., dan Saleh, R. (2014). "Preparation of Ordered Mesoporous Alumina Particles via Simple Precipitation Method." *Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 4(2).
- Shah, S. F. A., Chen, B., Oderji, S. Y., Haque, M. A., and Ahmad, M. R. (2020). "Improvement of Early Strength of Fly Ash-slag based One-part Alkali Activated Mortar." *Construction and Building Materials*. Vol. 246.
- Singh, Nakshatra B. 2018. "Fly Ash-Based Geopolymer Binder : A Future."
- SNI. 2015. "SNI 2049 : 2015 Standar Nasional Indonesia Semen Portland." : 1–147.
- Sunardi, S., Arryanto, Y., dan Sutarno, S. (2010). "Adsorption of Gibberellic Acid (GA3) onto Acid Activated Kaolin." *Indonesian Journal of Chemistry*, 10(3), 320–326.
- Yuanita, T. P. (2020). "Pengaruh Konsentrasi Pelarut dan Waktu Aging pada Pembuatan Silika Gel dari Abu Terbang (Fly Ash) Batu Bara." *Skripsi*.