

## TINJAUAN KETERSEDIAAN KONSENTRASI SENYAWA KIMIA UTAMA DALAM SEMEN CURAH

Yafia Lobang, Loth Botahala\* and Zakarias A. Mautuka

Program Studi Kimia, FMIPA, Universitas Tribuana Kalabahi, Kabupaten Alor, Indonesia

\*Corresponding author: [botahala@gmail.com](mailto:botahala@gmail.com)

### ABSTRAK

Semen menjadi salah satu kebutuhan utama manusia sebagai bahan konstruksi dalam pembangunan, baik di bidang perumahan, perhubungan, dan lain-lain. Namun semen dengan kualitas rendah akan berdampak pada kualitas pembangunan fisik suatu bangunan. Penelitian ini bertujuan menentukan konsentrasi 4 senyawa utama dalam semen terhadap 4 merk semen di kabupaten Alor yang dikodekan dengan  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $c_3$ , dan  $c_4$ , dengan menggunakan *X-RF* dan dilanjutkan dengan analisis menggunakan stoikiometri Bogue. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi komponen kimia A ( $Al_2O_3$ ) tidak ditemukan dalam semen dengan kode semen  $c_1$ ,  $c_2$ , dan  $c_3$ , serta konsentrasi komponen kimia  $\bar{S}$  ( $SO_3$ ) tidak ditemukan dalam semen dengan kode semen  $c_1$ ,  $c_2$ , dan  $c_4$ . Hasil analisis terhadap sampel  $c_3$  dan  $c_4$  menunjukkan tidak ditemukannya konsentrasi 2 senyawa utama dalam sampel semen yakni  $C_2S$  dan  $C_3A$ . Hal ini dapat diduga bahwa semen kehilangan sebageaian senyawa akibat waktu dan jarak distribusi semen dari produsen ke distributor serta akibat situasi dan kondisi dalam lingkungan distributor.

**Kata kunci:** semen, stoikiometri Bogue, *X-RF*, senyawa utama semen.

### ABSTRACT

*Cement is one of the main human needs as a construction material in development, both in the housing sector, transportation, and others. However, low-quality cement will have an impact on the quality of the physical construction of a building. This study aims to determine the concentration of 4 main compounds in cement for 4 brands of cement in the Alor district which are coded as  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $c_3$ , and  $c_4$ , using *X-RF* and followed by analysis using Bogue stoichiometry. The results showed that the concentration of the chemical component A ( $Al_2O_3$ ) was not found in the cement coded  $c_1$ ,  $c_2$ , and  $c_3$ , and the concentration of the chemical component  $\bar{S}$  ( $SO_3$ ) was not found in the cement coded  $c_1$ ,  $c_2$ , and  $c_4$ . The results of the analysis of samples  $c_3$  and  $c_4$  showed no concentrations of the 2 main compounds found in the cement samples, namely  $C_2S$  and  $C_3A$ . It can be suspected that the cement loses some of its compounds due to the time and distance of cement distribution from the producer to the distributor as well as due to the situation and conditions in the distributor environment.*

**Keywords:** cement, Bogue stoichiometry, *X-RF*, the main compound of cement.

### I. Pendahuluan

Semen menjadi salah satu kebutuhan utama manusia sebagai bahan konstruksi dalam pembangunan, baik di bidang perumahan, perhubungan, dan lain-lain (Botahala & Pasae, 2020). Semen merupakan bahan perekat yang dibuat khusus dari campuran antara bahan baku utama yakni batu kapur dan tanah liat, serta bahan baku koreksi yakni basir silika dan pasir besi, dengan bantuan gypsum yang dapat mengeras jika dicampur dengan air (Botahala, dkk., 2021).

Komponen kimia utama pembuatan semen secara umum adalah oksida kapur ( $CaO$ ); oksida

silika ( $SiO_2$ ); oksida alumina ( $Al_2O_3$ ); dan oksida besi ( $Fe_2O_3$ ) (Irawan, 2017; Botahala, dkk., 2013; Riyanto, dkk., 2020). Selain itu semen juga mengandung oksida magnesium ( $MgO$ ), oksida alkali ( $Na_2O$  dan  $K_2O$ ), oksida titan ( $TiO_2$ ), oksida fosfor ( $P_2O_5$ ), serta gipsum atau kalsium sulfat ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ) (Botahala & Manimoy, 2014; Riyanto et al., 2020). Keempat komponen kimia utama tersebut dapat memberikan kontribusi terhadap proses pembentukan klinker dan sifat-sifat semen yang dihasilkan. Misalnya  $CaO$  dan  $SiO_2$ , memberikan pengaruh nyata terhadap kekuatan tekan semen. Sedangkan  $Al_2O_3$  dan  $Fe_2O_3$  dapat berperan dalam

menurunkan temperatur peleburan pada proses pembentukan klinker (Botahala dan Pasae, 2020).

Berdasarkan *ASTM C 150-2004*, konsentrasi komponen utama semen tipe I adalah CaO dengan notasi C sebesar 63,23%; SiO<sub>2</sub> dengan notasi S sebesar 20,17%; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan notasi A sebesar 5,07%; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan notasi F sebesar 2,66%; dan SO<sub>3</sub> dengan notasi  $\bar{S}$  sebesar 3,26% (Irawan, 2017; Botahala & Pasae, 2020). Sedangkan konsentrasi senyawa semen tipe I berdasarkan *ASTM C 150-2004* adalah 3CaO.SiO<sub>2</sub> dengan notasi C<sub>3</sub>S sebesar 56,9%; 2CaO.SiO<sub>2</sub> dengan notasi C<sub>2</sub>S sebesar 14,8%; 3CaO.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan notasi C<sub>3</sub>A sebesar 8,9%; 4CaO.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan notasi C<sub>4</sub>AF sebesar 8,2% (Purnawan & Prabowo, 2018; Irawan, 2017; Botahala, 2013; Riyanto et al., 2020).

Secara umum, sifat dan peranan dari keempat senyawa tersebut dijelaskan sebagai berikut: senyawa C<sub>3</sub>S dapat memberikan hidrasi dan pengikatan yang cepat serta memberikan kontribusi terhadap kekuatan pada awal pengikatan. Senyawa C<sub>2</sub>S dapat memberikan hidrasi lambat dan memberikan kontribusi terhadap kekuatan dalam jangka panjang. Senyawa C<sub>3</sub>A dapat memberikan hidrasi sangat cepat, panas hidrasi yang tinggi, kontribusi terhadap pengikatan terutama kekuatan pada pengikatan awal serta senyawa C<sub>4</sub>AF dapat memberikan hidrasi yang cepat dan berperan dalam menghasilkan ciri khas warna semen (Alextrianto & Jaya Ekaputri, 2019; Botahala, 2013; Botahala & Pasae, 2020).

Ke-4 senyawa utama semen ini terbentuk dari hasil-hasil reaksi antara komponen utama penyusun semen pada saat pembakaran di *Kiln*. Pertama, F bereaksi dengan A dan C membentuk C<sub>4</sub>AF. Selanjutnya sisa A bereaksi dengan C membentuk C<sub>3</sub>A. Terakhir C bereaksi dengan S membentuk C<sub>3</sub>S dan C<sub>2</sub>S (Ahmed & Mohammed, 2012).

Untuk menentukan konsentrasi keempat senyawa kimia semen terdapat dua persamaan stoikiometri Bogue merumuskan dua persamaan stoikiometri semen (Botahala, 2013) berdasarkan rasio perbandingan komponen Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang dinotasikan dengan A/F dalam semen dengan asumsi sebagai berikut (Botahala & Pasae, 2020) dalam Botahala et al., 2021):

Jika  $A / F > 0,64$  maka: ..... (a)

$$C_3S = (4,071 \times \%C) - (7,600 \times \%S) - (6,718 \times \%A) - (1,430 \times \%F) - (2,852 \times \% \bar{S})$$

$$C_2S = (2,867 \times \%S) - (0,7544 \times \%C_3S)$$

$$C_3A = (2,650 \times \%A) - (1,692 \times \%F)$$

$$C_4AF = (3,043 \times \%F)$$

Jika  $A / F < 0,64$  maka: ..... (b)

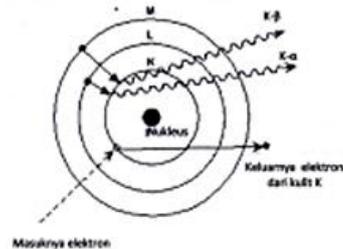
$$C_3S = (4,071 \times \%C) - (7,600 \times \%S) - (4,479 \times \%A) - (2,859 \times \%F) - (2,852 \times \% \bar{S})$$

$$C_2S = (2,867 \times \%S) - (0,7544 \times \%C_3S)$$

C<sub>3</sub>A = tidak ditemukan dalam komposisi semen  
C<sub>4</sub>AF =  $(2,100 \times \%A) + (1,702 \times \%F)$ .

Perhitungan tersebut di atas didasarkan pada hasil analisis komponen kimia semen menggunakan *X-RF*. Menurut (Brouwer, 2010), *XRF (X-Ray Fluorescence)* adalah suatu metode analisis kimia yang digunakan untuk menentukan konsentrasi berbagai macam material yang dapat berupa zat padat, dan zat cair, dalam berbagai bentuk. Metode ini memberikan hasil yang cepat, akurat dan bersifat tidak merusak sampel, dan pada umumnya metode ini hanya membutuhkan sedikit sampel (Brouwer, 2010).

Menurut (Cobb, 2009), prinsip pengukuran *XRF* didasarkan pada terjadinya proses eksitasi elektron pada kulit atom terdalam ketika atom suatu unsur tersebut dikenai oleh sinar X. Kekosongan elektron dari akibat ini akan diisi oleh elektron pada kulit atom terluar dengan melepaskan sinar X *fluorescence* yang memiliki energi spesifik untuk setiap unsur. Spektrum Sinar X pada *fluorescence* dianalisis untuk diketahui tingkat energi yang identik dengan suatu unsur tertentu dalam sampel, sebagaimana yang terlihat pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Karakteristik peristiwa radiasi

Menurut Lakowicz dalam (Botahala, 2013), bahwa jika suatu molekul dikenai sinar dengan energi yang sesuai dengan perbedaan energi antara elektron dalam keadaan dasar dan elektron pada keadaan tereksitasi, maka akan terjadi penyerapan foton dan penataan distribusi terhadap elektron pada molekul tersebut hingga dapat mencapai keadaan tereksitasi. Lebih lanjut Lakowicz menerangkan bahwa setelah terjadi eksitasi terhadap suatu molekul dengan penyerapan energi foton, molekul kemudian kembali ke keadaan dasar dengan kehilangan energi dalam 2 kemungkinan yaitu dengan mentransfer panas peralihan ke lingkungan tanpa radiasi atau oleh emisi cahaya (*fluorescence* atau *phosphorescence*) (Botahala, 2013).

Kebutuhan masyarakat dalam hal penggunaan semen terus berjalan, namun sampai saat ini belum ada suatu laporan resmi mengenai perbandingan karakteristik hasil pengujian laboratorium dari berbagai jenis semen yang beredar secara luas di Indonesia (Irawan, 2017). *ASTM C 150-2004* menyarankan kepada setiap produsen semen untuk mencantumkan komposisi

senyawa utama semen dalam setiap produksinya namun kadang diabaikan dengan alasan rahasia perusahaan (Irawan, 2017). Hal ini dapat memberikan peluang terjadinya penurunan kualitas pada tingkat distributor.

Semen yang kualitasnya rendah akan berdampak pada kualitas pembangunan fisik suatu bangunan. Berdasarkan hasil survey, terdapat beberapa merk semen portland komposit yang beredar di Kabupaten Alor di antaranya Semen Bosowa, Semen Tonasa, Semen Cons dan Semen Tiga Roda. Tinjauan terhadap konsentrasi senyawa kimia dalam ke-4 merk semen ini perlu dilakukan untuk memastikan ketersediaan kualitas semen pada distributor.

**II Metode**

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen curah yang diperoleh dari distributor/agen penjualan semen di Kabupaten Alor. Analisis sampel semen dilakukan dengan menggunakan kode  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $c_3$  dan  $c_4$  serta komponen kimia menggunakan notasi untuk memudahkan penelitian. Selanjutnya dilakukan analisis kimia semen dengan menggunakan *X-RF (Thermo Scientivic)* untuk penentuan komponen kimia semen yang terkandung dalam suatu sampel. Setelah itu, dilakukan perhitungan dengan menggunakan Stoikiometri Bogue.

**III Hasil Dan Pembahasan**

Hasil analisis *X-RF* terhadap ke-5 komponen utama kimia pada 4 sampel semen yang dibandingkan dengan *ASTM C 150-2004* dapat dilihat pada tabel 1.

**Tabel 1. Hasil analisis karakteristik semen**

Sampe	Konsentrasi				
	% C	% S	% A	% F	% $\bar{S}$
$c_1$	74,70	19,98	-	4,67	-
$c_2$	74,05	19,44	-	5,37	-
$c_3$	70,49	18,80	-	4,54	5,12
$c_4$	69,65	22,70	1,94	3,98	-
<i>ASTM</i>	63,23	20,17	5,07	2,66	3,26

Data Tabel 1 menunjukkan konsentrasi C dan F pada 4 sampel semen curah lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi senyawa pada *ASTM C 150-2004*. Demikian pula terhadap konsentrasi  $\bar{S}$  pada sampel semen  $c_3$ .

Konsentrasi S pada sampel semen  $c_1$ ,  $c_2$  dan  $c_3$  lebih rendah, kecuali  $c_4$  jika dibandingkan dengan *ASTM C 150-2004*. Sedangkan konsentrasi A pada sampel semen  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $c_3$  dan konsentrasi  $\bar{S}$  pada sampel semen  $c_1$ ,  $c_2$  dan  $c_4$  tidak dapat terbaca oleh *X-RF*. Hal ini menurut (Botahala, 2013) disebabkan oleh adanya pancaran sinar-X yang mengalami konversi penyimpangan antar sistem dari keadaan *singlet* ke keadaan *triplet* dengan panjang gelombang

yang lebih panjang (rendahnya energi) sehingga tidak mampu memancarkan *fluorescence*.

Kekurangan komponen A dalam semen dapat menyebabkan dominannya kapur (CaO) dalam reaksi hidrasi. Demikian pula dengan kekurangan komponen  $\bar{S}$ , reaksi tidak dapat membentuk *ettringite* yang cukup untuk memblokir air dari permukaan  $C_3A$  dalam proses hidrasi. Dari kondisi ini dapat dikatakan bahwa kelebihan kapur dan air dalam hidrasi dapat mempengaruhi reaksi hidrasi sehingga tidak dapat menghasilkan kualitas pasta yang baik.

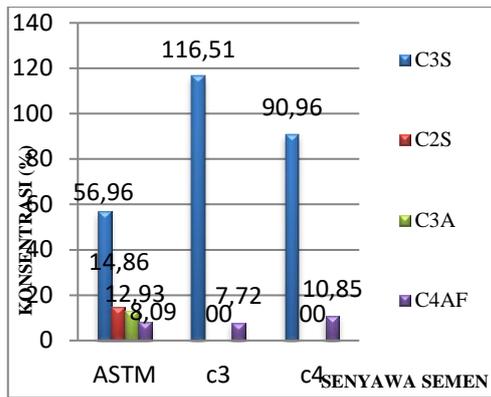
Kekurangan komponen kimia pada sampel-sampel ini diduga diakibatkan karena tidak adanya manajemen sistem kontrol terhadap hasil akhir hingga peredaran semen dan juga terhadap peredaran kantong semen. Hal ini sangat berdampak buruk terhadap kualitas suatu bangunan.

Dari hasil analisis *X-RF* terhadap komponen kimia semen curah tersebut, dapat dilakukan perhitungan konsentrasi senyawa kimia utama semen menggunakan stoikiometri Bogue. Perhitungan dilakukan terhadap sampel  $c_3$  dan  $c_4$  yang memiliki nilai konsentrasi  $\bar{S}$  dan A. Perhitungan menggunakan persamaan (b) karena hasil perbandingan konsentrasi A/F di bawah 0,64. Hasil perhitungan konsentrasi senyawa utama semen dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2. Hasil Perhitungan Konsentrasi**

Konsentrasi	ASTM	$c_3$	$c_4$
$C_3S$	56.96	116.51	90.96
$C_2S$	14.86	-	-
$C_3A$	12.93	-	-
$C_4AF$	8.09	7.72	10.85

Data Tabel 2 terlihat bahwa hasil perhitungan konsentrasi 4 senyawa kimia semen pada sampel  $c_4$  hanya memiliki konsentrasi 2 senyawa kimia semen yakni  $C_3S$  dan  $C_4AF$  dengan nilai konsentrasi yang sangat tinggi jika dibandingkan dengan konsentrasi senyawa kimia semen berdasarkan *ASTM C-150-2004*. Sedangkan senyawa  $C_2S$  dan senyawa  $C_3A$  nilai konsentrasinya tidak ditemukan dalam komposisi semen ini jika dibandingkan dengan konsentrasi senyawa yang telah ditetapkan dalam *ASTM C-150-2004*. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Perbandingan Konsentrasi Senyawa kimia Semen

Data dari Gambar 2 terlihat bahwa konsentrasi senyawa  $C_3S$  dari sampel  $c_3$  dan  $c_4$  menunjukkan nilai yang tinggi sebesar masing-masing 51,12% dan 37,38% dari standar (ASTM C 150-2004) dan  $C_4AF$ . Selain itu, nilai  $C_4AF$  pada sampel  $c_3$  lebih rendah sebesar 13,26% dan pada sampel  $c_4$  lebih tinggi sebesar 25,44% dari standar. Tidak ditemukannya konsentrasi senyawa  $C_2S$  dan senyawa  $C_3A$  dipengaruhi oleh ketidakseimbangan konsentrasi komponen kimia semen dalam sampel, yakni konsentrasi komponen A dan komponen S.

Tingginya konsentrasi senyawa  $C_3S$  dan  $C_4AF$  serta tidak ditemukannya konsentrasi senyawa  $C_2S$  dan  $C_3A$ , diduga adanya sumber sampel yang bukan diperoleh dari produsen tetapi diperoleh dalam bentuk semen curah dari distributor. Konsentrasi senyawa  $C_2S$  dan  $C_3A$  hasil perhitungannya negatif bukan berarti setiap komponen utama kimia semen tersebut tidak terdapat dalam semen, tetapi konsentrasinya sedikit maka tidak dapat dihitung.

Hasil analisis dengan konsentrasi senyawa kimia semen seperti ini menunjukkan semen dengan kualitas yang tidak sesuai dengan persyaratannya. Akibat hidrasi yang sangat cepat oleh tingginya senyawa  $C_3S$  dapat menyebabkan semen sangat sensitif terhadap senyawa asam. Karena, meskipun senyawa  $C_3S$  yang adalah gel *tobermorite* berperan dalam proses pengikatan namun memiliki  $Ca(OH)_2$  (kapur) yang tinggi pula.

Ketiadaan senyawa  $C_2S$  yang berfungsi mengatur waktu hidrasi dan waktu pengikatan dapat mempengaruhi stabilitas kekuatan semen dalam jangka waktu yang lama. Sedangkan ketiadaan  $C_3A$  memberikan kerugian tersendiri bagi kualitas semen. Dengan demikian maka gipsium tidak dapat bereaksi dengan  $C_3A$  untuk membentuk *ettringite* yang berfungsi menghambat laju air dalam proses hidrasi.

#### IV Kesimpulan

Ketiadaan senyawa  $C_2S$  dan  $C_3A$  ini dapat mempengaruhi kualitas semen secara signifikan mengingat peranan kedua senyawa ini sangat berarti dalam penentuan kualitas semen. Penurunan kualitas semen akibat kehilangan senyawa  $C_2S$  dan  $C_3A$  ini diduga, selain diakibatkan oleh faktor waktu dan jarak distribusi, juga diduga diakibatkan oleh faktor situasi dan kondisi dari distributor.

#### Daftar Pustaka

- [1] Ahmed, T., & Mohammed, M. (2012). Composition and phase mineral variation of Portland cement in Mass Factory Sulaimani – Kurdistan Region NE- Iraq. *International Journal of Basic & Applied Sciences*, 12(06), 109–118. Retrieved from <http://130.203.136.95/viewdoc/summary?doi=10.1.1.418.6938>
- [2] Alextrianto, V., & Jaya Ekaputri, J. (2019). Pemanfaatan Kapur ( $CaCO_3$ ) dan Lumpur Sidoarjo Sebagai Bahan Dasar Pembuatan Semen Portland. *Jurnal Teknik Sipil*, 11(Vol 11, No 2 (2019)), 38–45. Retrieved from <http://ejournal.pnl.ac.id/portal/article/view/1528/1264>
- [3] Botahala, L. (2013). *PERANAN ABU SEKAM PADI TERHADAP STABILITAS KUALITAS SEMEN PORTLAND KOMPOSIT YANG MENGGUNAKAN ADITIF BATU KAPUR*. Universitas Hasanuddin Makassar. Retrieved from <http://repo.untribkalabahi.ac.id/xmlui/handle/123456789/243>
- [4] Botahala, L., & Manimoy, H. (2014). STUDY ON CHEMICAL COMPONENT AND COMPRESSIVE STRENGTH OF PORTLAND COMPOSITE CEMENT USING LIMESTONE ADDITIVE. *Indonesia Chimica Acta*, 7(1), 19–22. Retrieved from <http://repo.untribkalabahi.ac.id/xmlui/handle/123456789/244>
- [5] Botahala, L., Manimoy, H., Tonu Lema, Y. E., Klaping, E. D., & Tang, M. (2021). STUDY OF CHEMICAL CONCENTRATION OF MAIN INGREDIENTS FOR MAKING PORTLAND COMPOSITE CEMENT. *Scientific Journal Widya Teknik*, 20(1), 28–32. Retrieved from <http://journal.wima.ac.id/index.php/teknik/article/view/3020>

- [6] Botahala, L., & Pasae, Y. (2020). *Kimia Semen : Suatu Kajian Literatur Ilmiah* (1st ed.). Yogyakarta: Deepublish. Retrieved from <http://repo.untribkalabahi.ac.id/xmlui/handle/123456789/265>
- [7] Botahala, L., Zakir, M., & Taba, P. (2013). PERANAN ABU SEKAM PADI TERHADAP KUALITAS MEKANIS FISIS SEMEN PORTLAND KOMPOSIT YANG MENGGUNAKAN ADITIF BATU KAPUR. *Indonesia Chimica Acta*, 6(2), 44–50. Retrieved from <http://repo.untribkalabahi.ac.id/xmlui/handle/123456789/243>
- [8] Brouwer, P. (2010). *Theory of XRF*. Almelo: PANalytical BV (3rd ed.). Netherlands: PANalytical B.V. Retrieved from <https://www.iotcco.com/uploads/VirtualTeaching/Articles/PANalytical/PANalytical XRF theory.pdf>
- [9] Cobb, D. (2009). *Study on the Effectiveness, Precision, and Reliability of X-ray Fluorescence Spectrometry and Other Alternative Methods for Measuring Lead in Paint*. Retrieved from <https://www.recalls.gov/about/cpsia/leadinpaintmeasure.pdf>
- [10] Irawan, R. R. (2017). Kajian Sifat Kimia, Fisika, Dan Mekanik Semen Portland Di Indonesia. *Jurnal Jalan-Jembatan*, 34(2), 79–90. Retrieved from <http://download.garuda.kemdikbud.go.id/article.php?article=517250&val=10592&title=KAJIAN SIFAT KIMIA FISIKA DAN MEKANIKA SEMEN PORTLAND DI INDONESIA>
- [11] Purnawan, I., & Prabowo, A. (2018). Pengaruh Penambahan Limestone terhadap Kuat Tekan Semen Portland Komposit. *Jurnal Rekayasa Proses*, 11(2), 86–93. <https://doi.org/10.22146/jrekpros.31136>
- [12] Riyanto, A., Yuliani, D., Amalia, L. R., & Astuti, E. (2020). Optimalisasi Penggunaan Gypsum dan Batu Kapur pada Pembuatan Semen Putih. *CHEMICA: Jurnal Teknik Kimia*, 6(2), 103–106. <https://doi.org/10.26555/chemica.v6i2.14629>