

**PENGARUH KANDUNGAN Na & K DARI FINE COAL
DAN RAW MATERIAL TERHADAP NILAI ALKALI PADA KLINKER DAN SEMEN
PCC**

**EFFECT OF Na & K CONTENT IN FINE COAL AND RAW MATERIAL TO ALKALI
CONTENT OF CLINKER AND PCC CEMENT**

Yulizar Yusuf*, Mutia Hanifah, Hermansyah Aziz

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas,
Limau Manis, Kota Padang, Sumatera Barat, Indonesia, 25163

*email korespondensi : yulizaryusuf59@gmail.com

Abstrak

Proses pembuatan Semen PCC membutuhkan *raw material* berupa *limestone*, *clay*, pasir silika, dan pasir besi serta bahan bakar berupa batubara. *Raw material* digiling dalam kiln dibantu dengan pembakaran batubara dengan komposisi tertentu menghasilkan klinker. Proses pembakaran batubara menghasilkan limbah padat (*fine coal*) yang kemungkinan dapat masuk ke dalam proses klinkerisasi. *Raw material* maupun *fine coal* memiliki kandungan alkali dalam bentuk Na_2O dan K_2O yang memiliki batas tertentu. Jika melebihi, akan menyebabkan reaksi alkali-sulfat yang mempengaruhi kualitas semen seperti kuat tekan dan *setting time*. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis kandungan alkali total yang ada pada *raw material* dan *fine coal*, pengaruhnya terhadap klinker dan semen, serta kualitas semen PCC. Pengujian nilai alkali menggunakan metode *flame photometry*. Hasil menunjukkan bahwa alkali pasir besi menjadi penyumbang nilai alkali total pada klinker sebesar 1,42% dibandingkan *raw material* lainnya. Kandungan alkali total *fine coal* pada kiln mengandung alkali total sebesar 0,41%. *Fine coal* tidak berpengaruh signifikan terhadap nilai alkali pada klinker. Sedangkan nilai alkali pada klinker cukup signifikan mempengaruhi nilai alkali pada semen. Kandungan alkali dari *raw material* dan *fine coal* mempengaruhi kuat tekan 28 hari, *setting time* awal, dan *setting time* akhir.

Kata kunci: *fine coal*, klinker, nilai alkali, *raw material*, semen PCC

Abstract

PCC cement requires raw material such as limestone, clay, silica sand, iron sand, and coal as fuel. Raw material is milled in a kiln by burning the coal with certain composition to produce clinker. The process of burning coal produces solid waste called fine coal which may enter the clinkerization process. Both raw material and fine coal contain alkali content in the form of Na_2O and K_2O has certain rates. If it exceeds, will cause an alkali-sulfate reaction affects the quality of cement such as compressive strength and setting time. This research was conducted to analyze total alkali content in raw material and fine coal, its effect on clinker and cement, and on the quality of PCC. Alkali content is analyze using flame photometry method. The results showed that alkali content of iron sand contributed 1.42% to total alkali content of clinker compared to other raw materials. Fine coal in kiln contains 0.41% total alkali content. Fine coal has no significant effect on alkali content of clinker. While alkali content of clinker significantly affect alkali content of cement. Alkali content of raw material and fine coal affect the compressive strength 28 days, initial and final setting time.

Keywords: fine coal, clinker, alkali content, raw material, PCC cement

PENDAHULUAN

Semen merupakan suatu perekat anorganik yang dapat merekatkan bahan-bahan padat menjadi satu kesatuan massa yang kokoh dan dapat membentuk suatu bangunan dengan berbagai macam model. Kemampuan semen sebagai perekat ini merupakan contoh konkrit perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang dengan perlakuan tertentu bahan-bahan dari alam (tanah liat dan batu serta bahan-bahan pembantu lainnya) dicampur dengan komposisi tertentu sehingga membentuk semen. Bahan baku (*raw material*) dalam proses pembuatan semen adalah *lime stone*, *clay*, pasir besi, dan pasir silika (Isnawati, 2015).

Proses pembuatan semen melewati tahapan yaitu pencampuran *raw material* menjadi *raw mix*, kalsinasi awal untuk memanaskan *raw mix* sebelum diumpan ke kiln, pembentukan dan pendinginan klinker, zona kalsinasi, zona transisi, zona pemijaran, dan zona pendinginan. Proses pembakaran pada zona pemijaran dilakukan dengan menggunakan bahan bakar batubara berlangsung pada suhu 1.100-1450°C (Tim PT. Semen Padang, n.d.). Proses pada zona pemijaran menyebabkan terjadinya reaksi antara oksida-oksida logam dalam *raw material* menghasilkan senyawa semen (C_3S , C_2S , C_3A , C_4AF). Trikalsium silikat (C_3S) memberikan andil yang besar terhadap fungsi perekat dan dapat mengeras jika bereaksi dengan air sehingga meingkatkan kuat tekan. Dikalsium silkat (C_2S) memberikan ketahanan terhadap serangan zat kimia yang tinggi dan mempengaruhi kuat tekan pada umur yang lebih lama. Trikalsium aluminat (C_3A) berfungsi sebagai bahan pelebur pada tungku pembakaran dan berkontribusi pada *setting time*. Tetrakalsium aluminoferrit (C_4AF) tidak terlalu berpengaruh terhadap proses pengerasan semen namun berpengaruh terhadap warna pada semen (Andriani dkk., 2012).

Proses pendinginan kiln menghasilkan butiran-butiram kecil bersuhu $\pm 150^\circ C$ yang disebut dengan klinker. Klinker akan digiling dan ditambahkan dengan gipsum yang berfungsi sebagai retarder menghasilkan semen Portland (Tim PT. Semen Padang, n.d.). Semen Portland yang dicampurkan dengan bahan anorganik lain seperti terak tanur tinggi, pozzolan, dan batu kapur dinamakan *Portland Composite Cement*

(PCC) untuk menghasilkan beton bermutu tinggi dan ramah lingkungan (Susanto dkk., 2019).

Pembakaran pada zona pemijaran menghasilkan limbah padat yang berukuran sangat kecil atau halus disebut sebagai *fine coal*. *Fine coal* digunakan dalam pembakaran kiln dan kemungkinan dapat masuk ke dalam klinker sehingga mempengaruhi semen (ACI (American Concrete Institute), 1993; Tim PT. Semen Padang, n.d.).

Menurut Huang dan Yan (2019) *raw material* maupun *fine coal* tersebut mengandung senyawa alkali (Na dan K) yang nantinya akan berpengaruh terhadap produk semen. Alkali tersebut akan bereaksi dengan sulfat yang ada dalam semen sebagai dua bentuk yaitu sulfat dan larutan dalam silikat/aluminat dalam klinker. Apabila senyawa tersebut dalam semen memiliki konsentrasi yang besar akan mempengaruhi kualitas semen dilihat dari sifatnya, seperti menurunnya kuat tekan semen, mempercepat hidrasi awal semen namun mengurangi hidrasi di kemudian hari, dan mempengaruhi kinerja dari semen untuk menghasilkan beton dan mortar. Jika kualitas semen tersebut dipengaruhi dalam segi sifat fisika maupun mekanik, kemungkinan akan mengurangi penjualan dari semen dikarenakan kualitas yang dihasilkan buruk (Badan Standar Nasional, 2017; Li dkk., 2016; Magalhães dkk., 2019). Produk semen yang dihasilkan dari segi fisik akan menimbulkan retak-retak rambut dan diperkirakan disebabkan oleh meningkatnya kandungan alkali dalam semen dari nilai yang disyaratkan konsumen (0,6 %).

Kualitas semen PCC sangat ditentukan oleh sifat fisika kuat tekan dan *setting time*. Kuat tekan dan *setting time* semen PCC sebagaimana yang diatur dalam SNI adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Sifat Fisika Semen PCC

No.	Uraian	Nilai
1.	Kuat tekan	
	Umur 3 hari, kg/cm ² , minimum	125
	Umur 7 hari, kg/cm ² , minimum	200
2.	Umur 28 hari, kg/cm ² , minimum	280
	<i>Setting Time</i> dengan alat Vicat	
	Awal, menit, minimum	45
	Akhir, menit, maksimum	375

(Badan Standardisasi Nasional, 2004)

Berdasarkan kemungkinan penyebab retak-retak rambut oleh kandungan alkali tersebut, maka dilakukan penelitian untuk menguji dan menganalisis kandungan alkali dari *fine coal*, *raw material*, klinker, dan semen serta melihat pengaruh nilai alkali tersebut terhadap kualitas semen PCC dari segi kuat tekan dan *setting time*.

METODE PENELITIAN

Bahan Kimia, Peralatan, dan Instrumentasi

Bahan-bahan yang digunakan adalah kantong plastik, *lime stone*, *clay*, pasir besi, pasir silika, klinker, dan semen PCC produksi Pabrik Indarung V PT. Semen Padang, *fine coal* Pabrik Indarung V, *fine coal* dari 3 sumber utama pemasok batubara (Muaro Tebo, Muaro Bungo, dan Sarolangun), NH_4OH , HCl 1:1, akuades, NaOH 1%, indikator Metil Orange, BaCl_2 10%, NaCl, KCl, kertas saring (Whatman 40, 41, dan 42), dan pasir otawa.

Alat-alat yang digunakan adalah neraca analitik digital (Sartorius TE 214S), alat Vicat beserta cincin, mesin pengaduk (Toni Teknik) lengkap dengan mangkuk dan pengaduk, pisau aduk segitiga, alat uji kuat tekan (Toni Teknik), cetakan ($5 \times 5 \times 5$) cm^3 , *X-ray Fluorescence* (XRF, Rigaku Nex CG), *bowl mill*, spatula, cawan porselen, furnace 800°C (Carbolite CWF 1300) dan 1.000°C (Carbolite RHF 1600), magnetic bar, hot plate, cawan platina, penangas, *minimum free space oven*, kawat, krus silika, *flame photometer* (JENWAY), dan peralatan gelas lainnya.

Prosedur Penelitian

Preparasi Sampel

Sampel *raw material* (*lime stone*, *clay*, pasir besi, pasir silika), klinker, dan semen PCC diambil dari proses pada Pabrik Indarung V PT. Semen Padang. Sampel *fine coal* diambil dari *coal mill* Pabrik Indarung V PT. Semen Padang. Masing-masing sampel disimpan di dalam plastik dan diberi kode berupa tanggal dan tempat pengambilan sampel. Sampel *raw material* dikeringkan di dalam oven bersuhu tinggi selama 3 jam dan digiling menggunakan *bowl mill*. Setelah itu, dilakukan proses pengabuan sampel *fine coal* pada furnace dengan suhu 900°C selama 4 jam, dan didinginkan selama 30 menit.

Uji Kandungan Mineral Sampel Menggunakan XRF

Komposisi kimia dari masing-masing sampel diukur menggunakan XRF. Sampel yang telah halus ditimbang sebanyak 5 g, dimasukkan ke dalam kapsul, dan diratakan agar menutupi dasar kapsul. Kemudian diletakkan ke dalam alat XRF dan ditunggu hingga pengujian selesai.

Uji Alkali

Penentuan nilai alkali dalam bentuk Na_2O dan K_2O menggunakan metode *Flame photometry*. Penentuan alkali ini dilakukan pada sampel *fine coal* yang berasal dari 3 sumber, *fine coal*, *raw material*, klinker, dan semen.

Persiapan Larutan (Larutan Induk Natrium – Kalium)

NaCl dan KCl padat dikeringkan pada suhu 105°C selama beberapa jam. Kemudian ditimbang NaCl sebanyak 1,8858 g serta KCl sebanyak 1,5830 g dan dilarutkan dalam akuades. Larutan diencerkan hingga 1 L dalam labu ukur dan dihomogenkan. Larutan induk ini setara dengan 1.000 mg/L masing-masing untuk Na dan K.

Pembuatan Larutan Intermediet

Larutan induk Na dan K 1.000 mg/L diambil sebanyak 10 mL kemudian diencerkan dalam labu ukur 100 mL.

Pembuatan Larutan Standar Na dan K Konsentrasi 0; 0,4; 0,8; 1,2; 1,6; 2,0; 2,4; dan 2,8 mg/L.

Larutan intermediet Na dan K 100 mg/L diambil dengan volume tertentu dan diencerkan dalam labu ukur 100 mL untuk menghasilkan deret larutan standar Na dan K 0; 0,4; 0,8; 1,2; 1,6; 2,0; 2,4; dan 2,8 mg/L.

Preparasi Sampel untuk Uji Alkali

Sampel ditimbang sebanyak 0,2000 g dan dilarutkan dengan akuades. Ditambahkan 10 mL HCl 1:1 lalu dipanaskan. Setelah larutan mendidih, ditambahkan akuades panas hingga volume larutan menjadi 50 mL. Larutan yang mendidih disaring ke labu ukur 250 mL dengan kertas saring berpori medium (Whatman 40) dan dicuci dengan akuades panas. Filtrat didinginkan dan diencerkan hingga tanda batas dengan akuades.

Pengukuran dengan Flame Photometer

Masing-masing larutan standar dan larutan sampel diukur kadar Na_2O dan K_2O menggunakan *flame photometer* dimulai dari

konsentrasi rendah ke tinggi. Nilai yang muncul pada alat merupakan nilai emisi dari logam alkali yang diuji. Untuk menentukan konsentrasi dari Na₂O dan K₂O digunakan rumus:

$$[Na] = \frac{\text{Nilai emisi} \cdot Na - \text{intersep Na}}{\text{slope Na}} \times FP - [Na]_{\text{blanko}}$$

$$[K] = \frac{\text{Nilai emisi} \cdot K - \text{intersep K}}{\text{slope K}} \times FP - [K]_{\text{blanko}}$$

$$\%Na_2O = \frac{(\text{Vlabu yang dipakai} : 1000) \times [Na]}{\text{berat sampel (mg)}} \times 100\%$$

$$\%K_2O = \frac{(\text{Vlabu yang dipakai} : 1000) \times [K]}{\text{berat sampel (mg)}} \times 100\%$$

$$\text{Alkali total} = \% Na + 0,658 \times \% K$$

Dimana:

$$0,658 = \frac{Mr Na_2O}{Mr K_2O}$$

FP = Faktor Pengenceran

Selanjutnya nilai alkali total dari Na₂O dan K₂O disebut sebagai nilai alkali total.

Uji Sifat Fisika Semen PCC

Uji Kuat Tekan

Semen ditimbang sebanyak 500 g dan pasir otawa ditimbang sebanyak 1.375 g, dimasukkan 20 mL air ke dalam *mixer*, dimasukkan semen ke dalam *mixer*, dilanjutkan dengan pasir otawa yang dimasukkan secara perlahan sambil diaduk. Hasil pengadukan ini disebut dengan mortar. Diisikan adukan mortar ke dalam *mould* (cetakan (5x5x5) cm³) hingga setengah isi *mould*, selanjutnya ditumbuk sebanyak 32 kali dengan menggunakan *tamper*. Diisikan kembali adukan mortar ke dalam *mould* hingga penuh, ditumbuk sebanyak 32 kali. Permukaan *mould* diratakan menggunakan pisau aduk segitiga, lalu disimpan di ruang lembab (*curing chamber*) ± 24 jam. Setelah itu, dibuka cetakan dan dilakukan perendaman ke dalam air perendam pada *curing chamber* yang mana airnya harus terjaga kebersihannya dan merupakan larutan jenuh kapur padam (Ca(OH)₂).

Dilakukan pengujian apabila benda uji telah dikeluarkan dari perendaman untuk pengujian 3, 7, dan 28 hari. Dibersihkan benda uji dengan kain lembab yang bersih sampai kondisi permukaan kering dan hilangkan butiran pasir atau lapisan kasar dari permukaan yang akan kontak dengan landasan blok mesin uji.

Dilakukan penekanan benda uji dengan alat penekan yang telah dikalibrasi dengan kecepatan penekanan yang ditetapkan sedemikian rupa sehingga tekanan maksimum tercapai dalam waktu 20-80 detik dengan beban tekanan pada permukaan yang betul-betul rata.

Uji Setting Time

Sampel semen ditimbang sebanyak 650 g. Kemudian dimasukkan air ke dalam mangkuk aduk, dimasukkan sampel semen dan ditunggu selama 30 detik agar air terserap. Kemudian dijalankan pengaduk dengan kecepatan rendah selama 30 detik, dihentikan pengaduk selama 15 detik sambil dikumpulkan pasta yang menempel pada dinding mangkuk, dan pengaduk dijalankan kembali pada kecepatan sedang selama 1 menit agar lebih sempurna. Kemudian pengaduk dihentikan dan diambil pasta dengan tangan untuk membentuk pasta menjadi bola dengan 6 kali lemparan menggunakan kedua tangan.

Setelah terbentuk bola pasta, dimasukkan ke dalam lubang cincin, dan kelebihan pasta di lubang cincin dipotong menggunakan pisau aduk segitiga pada permukaan cincin. Kemudian dilakukan penetrasi menggunakan jarum vicat (d = 1 mm). Waktu pengikatan awal (menit) menunjukkan waktu jika jarum vicat menembus 25 mm dan waktu pengikatan akhir (menit), jika jarum tidak menembus dan tidak terbatas.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Preparasi Sampel

Hasil preparasi sampel *raw material*, klinker, dan semen menghasilkan sampel berbentuk bubuk halus. Sedangkan sampel *fine coal* dalam bentuk abu halus. Sampel siap untuk diuji.

Uji Kandungan Mineral Sampel

Pengujian kandungan mineral sampel digunakan untuk melihat komposisi komponen utama yang dibutuhkan dalam pembuatan semen menggunakan XRF. Komposisi oksida-oksida logam dari masing-masing sampel dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Komposisi Komponen

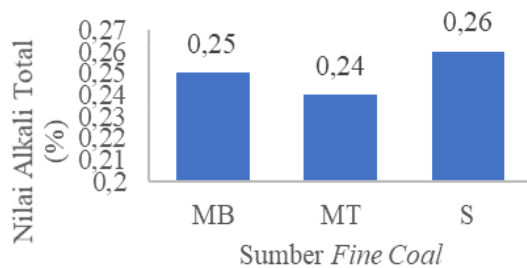
Sampel	Komposisi komponen (%)						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
Lime stone	3,14	0,65	0,55	51,06	0,49	0,04	0,01
Clay	38,13	28,73	12,59	0,22	0,04	0,07	0,18
Pasir Besi	23,11	3,47	59,17	3,04	0,66	0,12	0,23
Pasir Silika	66,64	11,96	5,66	3,38	0,52	0,10	0,55
Klinker	19,14	5,44	3,59	64,64	1,26	0,18	0,33
Semen	23,22	6,51	3,06	60,06	0,94	0,18	0,66

Komponen utama CaO memiliki fungsi pengikatan yang mempengaruhi kekuatan semen, Al₂O₃ berfungsi mempercepat proses pengerasan semen, SiO₂ berfungsi sebagai filler yang mempengaruhi kekuatan semen, dan Fe₂O₃ berfungsi mempengaruhi kuat tekan (Irawan, 2017).

Uji Alkali

Fine Coal dari 3 Sumber

Pengujian kandungan alkali *fine coal* dari sumber pemasok batubara PT. Semen Padang bertujuan untuk menunjang pengujian alkali *fine coal* yang digunakan pada pembakaran kiln. *Fine coal* yang digunakan diambil dari 3 sumber pemasok, yaitu batubara Muaro Bungo, Muaro Tebo, dan Sarolangun, Provinsi Jambi. Nilai alkali dalam bentuk Na₂O pada *fine coal* Muaro Bungo, Muaro Tebo, dan Sarolangun secara berturut-turut adalah 0,07%, 0,12%, dan 0,19%. Sedangkan nilai alkali dalam bentuk K₂O secara berturut-turut adalah 0,27%, 0,19%, dan 0,11%.



Gambar 1. Perbandingan nilai kandungan alkali total *fine coal* dari 3 sumber

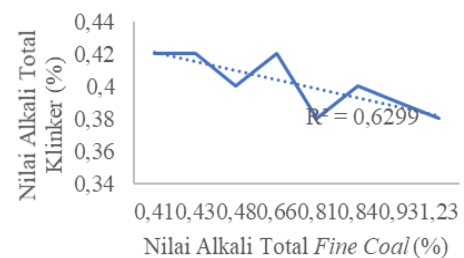
Ket : MB : Muaro Bungo, MT : Muaro Tebo, S : Sarolangun

Berdasarkan Gambar 1, dapat dilihat bahwa *fine coal* yang berasal dari tiga sumber pasokan batubara PT. Semen Padang memiliki nilai kandungan alkali total yang hampir sama. Hal ini menandakan batubara dari ketiga sumber tersebut dapat digunakan secara bersamaan sehingga dapat mengoptimalkan pembakaran kiln dalam proses klinkerisasi dan dapat memudahkan menganalisa pengaruh alkali *fine coal* terhadap nilai alkali dari klinker dan semen.

Pengaruh Alkali Fine Coal terhadap Nilai Alkali Klinker

Fine coal yang berada di area kiln produksi semen, diambil untuk melihat kandungan alkali pada *fine coal* tersebut dan

pengaruhnya terhadap nilai alkali pada klinker. Kemungkinan *fine coal* dapat mempengaruhi nilai alkali pada klinker karena masuk ke dalam proses klinkerisasi pada kiln melalui *fhister*. *Fhister* merupakan jalur masuknya batubara dari *coal mill* untuk mengumpukan bara ke dalam kiln. *Fhister* dibakar dengan bantuan solar dan gas sehingga dapat menghasilkan pembakaran yang optimal pada kiln. Proses tersebut dapat menyebabkan *fine coal* masuk ke dalam proses klinkerisasi dan bercampur bersama semen (Susanto dkk., 2019). Oleh karena itu dilakukan pengujian dan pengecekan nilai alkali dari *fine coal*.



Gambar 2. Pengaruh Alkali *Fine Coal* terhadap Nilai Alkali Klinker

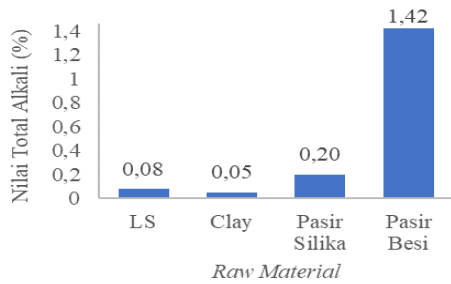
Berdasarkan pengukuran, nilai alkali *fine coal* berkisar antara 0,41-1,23% dan rata-rata nilai alkali *fine coal* berdasarkan pengujian menggunakan *flame photometry* adalah sebesar 0,41%. Sedangkan untuk nilai alkali klinker berkisar antara 0,38-0,42%.

Berdasarkan Gambar 2, dapat dilihat pengaruh alkali *fine coal* terhadap nilai alkali klinker. Semakin besar nilai alkali total *fine coal* semakin kecil nilai alkali total pada klinker namun tidak signifikan. Nilai koefisien determinasi menghasilkan nilai koefisien korelasi sebesar 0,7937. Dari nilai koefisien korelasi tersebut menunjukkan bahwa *fine coal* bukan termasuk penyumbang utama terhadap nilai alkali klinker. Hal ini dapat disebabkan oleh *fine coal* yang masuk ke kiln memiliki kadar yang sedikit dibandingkan dengan bahan-bahan lain yang digiling untuk menghasilkan klinker (Tim PT. Semen Padang, n.d.). *Fine coal* yang masuk ke dalam proses klinkerisasi diharapkan sedikit hingga tidak ada karena akan mempengaruhi kualitas semen.

Pengaruh Alkali Raw Material terhadap Nilai Alkali Klinker

Pengujian kandungan alkali *raw material* dilakukan untuk mengetahui raw material yang menjadi penyumbang nilai alkali pada klinker.

Berikut merupakan kandungan alkali dari masing-masing *raw material* yang diukur dengan *flame photometer*.

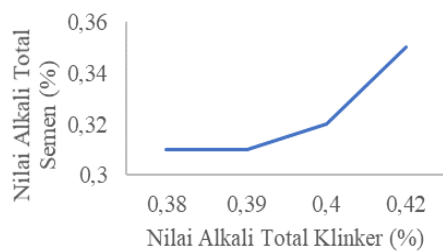


Gambar 3. Nilai Kandungan Alkali Raw Material

Berdasarkan Gambar 3, nilai alkali terbesar adalah pada pasir besi. Maka, pasir besi termasuk penyumbang alkali yang dominan mempengaruhi nilai alkali pada klinker dan semen walaupun penggunaan pasir besi dalam semen sebanyak 1-2% dari keseluruhan *raw material*. Kandungan alkali yang ada dalam pasir besi dalam bentuk Na_2O adalah 0,73% dan dalam bentuk K_2O adalah 1,05%.

Pengaruh Nilai Alkali Klinker terhadap Nilai Alkali Semen

Setelah melihat pengaruh alkali *fine coal* dan *raw material* semen terhadap klinker, juga perlu dilihat pengaruh alkali klinker tersebut terhadap nilai alkali pada semen. Nilai alkali pada semen yang dianalisa dengan *flame photometry*. Pengaruh nilai alkali klinker terhadap nilai alkali pada semen dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Pengaruh Nilai Alkali Klinker Terhadap Nilai Alkali Semen

Pengujian nilai alkali dengan uji menggunakan *flame photometry* menunjukkan nilai alkali total klinker rata-rata sebesar 0,40 % dan nilai alkali total rata-rata semen sebesar 0,34 %. Nilai alkali total semen masih berada pada rentang nilai alkali yang disyaratkan yaitu maksimum 0,6%.

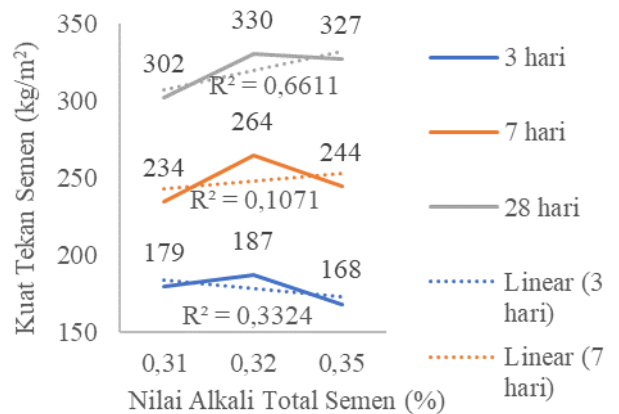
Berdasarkan Gambar 4. terlihat bahwa nilai alkali klinker cukup signifikan

mempengaruhi nilai alkali semen. Hal ini disebabkan karena pada proses penggilingan semen dari klinker akan ditambahkan material lain seperti pozzolan, gipsum dan material tambahan lain. Kemungkinan material lain juga memiliki kandungan alkali yang dapat mempengaruhi nilai alkali pada semen.

Menurut Tjokrodinuljo (1996), Pozzolan berperan sebagai pengganti sebagian semen Portland dan akan menjadikan beton menjadi lebih mudah diaduk, lebih rapat air dan lebih tahan terhadap serangan kimia. Beberapa pozzolan dapat mengurangi pemuaiannya akibat proses alkali-agregat (reaksi alkali dalam semen dengan silika dalam agregat), dengan demikian mengurangi retak-retak beton akibat reaksi tersebut (Susanto et al., 2019). Sedangkan gipsum berperan sebagai *retarder* yang dapat mengatur waktu pengikatan. Menurut Budiawan et al., gipsum juga dapat mempengaruhi kuat tekan baik itu nilai kuat tekan maupun perkembangan kuat tekan.

Uji Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan semen dilakukan dengan mengukur kekuatan mortar terhadap beban yang diberikan (Badan Standarisasi Nasional, 2002).



Gambar 5. Pengaruh nilai alkali semen terhadap kuat tekan semen

Berdasarkan Gambar 5 terlihat bahwa nilai alkali semen yang telah diuji sangat berpengaruh terhadap kuat tekan 28 hari ditunjukkan dengan koefisien korelasi (r) sebesar 0,8131 yang didapat dari koefisien determinasi (R^2) sebesar 0.6611.

Nilai alkali total semen 0,35% menghasilkan kuat tekan semen 3 hari sebesar 168 kg/cm^2 , kuat tekan semen 7 hari sebesar 244 kg/cm^2 , dan kuat tekan semen sebesar 327 kg/cm^2 . Kuat tekan semen 3, 7, dan 28 hari

menunjukkan nilai yang memenuhi syarat fisika kuat tekan semen. Kuat tekan semen yang optimal dihasilkan saat nilai alkali total 0,32% pada 3, 7, dan 28 hari.

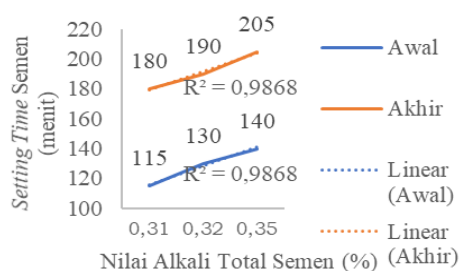
Kandungan alkali pada semen juga dapat menjadi faktor sensitif yang mempengaruhi fresh dan sifat kekuatan beton. Ketika kandungan alkali dari semen meningkat atau total alkali dari beton meningkat akan berdampak pada penurunan kinerja campuran semen dan mengurangi kuat tekan. Menurut Li dkk (2016), hal ini terjadi karena terbentuknya mikrostruktur berpori yang menyebabkan adanya gel C-S-H (kalsium silika hidrat) yang akan membuat kuat tekan rendah (Ma dkk., 2018). Gel C-S-H terbentuk akibat reaksi antara semen dengan air yang menyebabkan C_3S mengalami reaksi hidrasi. Reaksi hidrasi pada C_3S akan membuat semen menjadi mengeras dan berfungsi sebagai perekat sehingga dapat meningkatkan kuat tekan.

Kuat tekan semen dipengaruhi oleh senyawa C_3S , C_2S , dan C_3A . C_3S mempengaruhi perkembangan pada kuat tekan awal, C_2S mempengaruhi kuat tekan pada umur yang lebih lama, dan C_3A mempengaruhi kuat tekan sampai pada umur 28 hari (Badan Standarisasi Nasional, 2002; Purnawan dkk., 2018).

Uji Setting Time

Pengujian waktu pengikatan dilakukan dengan mengukur kedalaman penetrasi jarum terhadap adonan semen yang dibentuk menjadi mortar. Waktu pengikatan semen dibagi menjadi dua, yaitu waktu pengikatan awal dan waktu pengikatan akhir yang disyaratkan nilainya pada SNI.

Setting time awal dilihat saat semen ditambahkan air dari kondisi plastis hingga menjadi tidak plastis. Sedangkan setting time akhir dilihat saat semen dicampurkan dengan air hingga mencapai kekakuan penuh ditandai dengan jarum Vicat tidak dapat menembus mortar. Berikut merupakan pengaruh nilai alkali semen terhadap waktu pengikatan (*setting time*) semen.



Gambar 6. Pengaruh nilai alkali semen terhadap Setting time semen

Berdasarkan Gambar 6 menunjukkan semakin besar nilai alkali semen, maka *setting time* akan besar pula. Koefisien determinasi ($R^2 = 0,9868$) menghasilkan koefisien korelasi (r) sebesar 0,9934 menunjukkan nilai alkali semen mempengaruhi *setting time* semen secara signifikan. Ketika semen bercampur dengan air, maka alkali yang ada akan bereaksi dan menghasilkan ion alkali berupa Na^+ dan K^+ yang masuk ke dalam fasa liquid sistem hidrasi maka akan terjadi pengikatan dan mengeras (Magalhães dkk., 2019; Yusuf dkk., 2020).

Semakin besar nilai alkali, maka akan terjadi peningkatan laju hidrasi yang menyebabkan pengikatan semen semakin besar. Hal ini disebabkan karena terjadi peningkatan kelarutan senyawa C_3A yang berpengaruh terhadap *setting time*, laju kelarutan fasa C_3S , dan pengendapan fasa terhidrasi (Magalhães et al., 2019). *Setting time* awal yang terbaik dihasilkan oleh kandungan alkali sebesar 0,35% adalah 140 menit dan *setting time* akhir selama 205 menit. *Setting time* awal maupun akhir menunjukkan nilai yang sesuai dengan syarat fisika setting time semen menurut SNI.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penyumbang nilai alkali terbesar pada semen berasal dari *raw material* terutama pasir besi. Nilai alkali *fine coal* tidak berpengaruh signifikan terhadap nilai alkali pada klinker. Nilai alkali pada klinker cukup signifikan mempengaruhi nilai alkali pada semen. Nilai alkali dari variasi sampel semen yang diambil berkisar antara 0,31-0,35% dan menunjukkan nilai yang berada dalam rentang nilai yang disyaratkan oleh konsumen PT. Semen Padang. Kandungan alkali dari *raw material* dan *fine coal* dapat mempengaruhi kuat tekan semen PCC pada 28 hari dan sangat mempengaruhi *setting time* awal dan akhir semen PCC.

DAFTAR RUJUKAN

- ACI (American Concrete Institute). (1993). *Manual of concrete practice, part 1. In Aci Vol. 552.*
- Andriani, A., Yuliet, R., & Fernandez, F. L. (2012). Pengaruh Penggunaan Semen Sebagai Bahan Stabilisasi Pada Tanah Lempung Daerah Lambung Bukit

- Terhadap Nilai Cbr Tanah. *Jurnal Rekayasa Sipil (JRS-Unand)*, Vol. 8 No. 1, 29.
- Badan Standar Nasional. (2017). *SNI ISO 17025:2017*.
- Badan Standarisasi Nasional. (2002). *SNI 03-6820-2002*.
- Badan Standarisasi Nasional. (2004). *SNI 15-7064-2004 Semen Portland Komposit. Badan Standar Nasional Indonesia*.
- Huang, L., & Yan, P. (2019). Effect of alkali content in cement on its hydration kinetics and mechanical properties. *Construction and Building Materials*, Vol. 228.
- Irawan, R. R. (2017). Kajian Sifat Kimia, Fisika, Dan Mekanik Semen Portland Di Indonesia. *Jurnal Jalan-Jembatan*, Vol. 34 No. 2, 79–90.
- Isnawati. (2015). *PENGARUH PENAMBAHAN AGREGAT LIMBAH PLASTIK TERHADAP KUAT TEKAN BETON. UNIVERSITAS ISLAM NEGERI ALAUDDIN MAKASSAR*.
- Li, Z., Afshinnia, K., & Rangaraju, P. R. (2016). Effect of alkali content of cement on properties of high performance cementitious mortar. *Construction and Building Materials*, Vol. 102, 631–639.
- Ma, Y., & Qian, J. (2018). Influence of alkali sulfates in clinker on the hydration and hardening of Portland cement. *Construction and Building Materials*, Vol. 180, 351–363.
- Magalhães, M. da S., Faleschini, F., Pellegrino, C., & Brunelli, K. (2019). Influence of alkali addition on the setting and mechanical behavior of cement pastes and mortars with electric arc furnace dust. *Construction and Building Materials*, Vol. 214, 413–419.
- Purnawan, I., & Prabowo, A. (2018). Pengaruh Penambahan Limestone terhadap Kuat Tekan Semen Portland Komposit. *Jurnal Rekayasa Proses*, Vol. 11 No. 2, hal. 86.
- Susanto, D., Djauhari, Z., & Olivia, M. (2019). Karakteristik Beton Portland Composite Cement (PCC) Dan Silica Fume Untuk Aplikasi Struktur di Daerah Laut. *Jurnal Rekayasa Sipil (JRS-Unand)*, Vol. 15 No. 1.
- Tim PT. Semen Padang. (n.d.). *Teknologi Semen*.
- Yusuf, Y., Savitri, V. F., & Aziz, H. (2020). Pengaruh Penggunaan Fly Ash dari Berbagai Sumber terhadap Sifat Kimia dan Sifat Fisika pada Semen Tipe I (OPC). *Univeritas Andalas*, Vol. 11.