

Pengaruh Penggunaan *Fly Ash* dari Berbagai Sumber terhadap Sifat Kimia dan Sifat Fisika pada Semen Tipe I (OPC)

Yulizar Yusuf^{1*}, Vivin Firman Savitri¹, Hermansyah Aziz¹

¹Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas, Sumatera Barat, Indonesia

Corresponding author:
Yulizar Yusuf
Yulizaryusuf59@gmail.com

Received: March 2020
Accepted: July 2020
Published: September 2020

©Yulizar Yusuf et al. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Abstract

The aim of this study is to utilize fly ash from various sources on chemical and physical properties of cement type I (OPC). Utilization of fly ash can improve the strengthness of the cement. It can reduce the waste of fly ash by utilization into cement process. The procedure has been carried out on cement type I (OPC) with the addition of fly ash additives from various sources with concentration variations such as 10% and 20%. Utilization of fly ash as additives substance in cement works to improve the quality of cement. The main parameter in determining the quality of cement is determined by the compressive strength. The results of the compressive strength test showed that the addition of fly ash with a concentration of 10% had a higher effect on the compressive strength than the addition of a concentration of 20%. Five types fly ash from various sources, fly ash from PT Sinar Mas gives greater compressive strength at 28 days. the addition of fly ash additives to OPC cement mixture has chemical and physical properties which are not much different from properties of PCC cement.

Keywords: *fly ash, OPC cement, compressive strength*

Pendahuluan

Semen memiliki kegunaan sebagai komponen utama dalam konstruksi bangunan yang menjadikan semen sebagai wadah komoditi yang menguntungkan. Berdasarkan Kemenperin (2016) menyatakan bahwa produksi semen nasional hampir mencapai 68.7 juta ton dimana kemampuan produksi hanya mencapai 59.9 juta ton. Pada tahun 2014, jumlah ekspor semen asal Indonesia 220,000 ton, sedangkan jumlah impor sebanyak 2.4 juta ton. Semen nasional memiliki total kebutuhan yang diperkirakan hingga 62.4 juta ton. Pemenuhan kebutuhan pasar yang tinggi tersebut ditambah dengan permintaan konsumen terhadap mutu yang baik menjadikan produsen harus mementingkan mutu yang berkualitas sebagai acuan utama

dalam produksi semen. Di samping itu proses yang memenuhi standar akan mendukung kualitas produk yang baik. Industri semen memiliki tantangan untuk mengurangi konsumsi energi dalam proses produksi dengan tetap menghasilkan produk yang berkualitas tinggi^[1]. Pesatnya perkembangan dalam konstruksi pembangunan menjadikan industri semen membuat produk semen yang menghasilkan beton mutu tinggi serta menghasilkan semen yang ramah lingkungan tanpa mengurangi kualitas beton yang dihasilkan. Salah satunya yang biasa digunakan pada saat ini ialah semen PCC (*Portland Composite Cement*)^[2].

Semen PCC (*Portland Composite Cement*) adalah salah satu jenis semen varian baru yang memiliki sifat yang mirip dengan semen

Portland. Komposisi bahan baku utama semen PCC ialah *klinker*, gipsum dan tambahan zat *additive*. Bahan aditif yang digunakan pada tipe PCC yaitu abu terbang (*fly ash*) dimana memiliki kandungan senyawa SiO_2 yang dapat meningkatkan nilai kuat tekan pada semen sehingga meningkatkan kualitas produksi semen yang dihasilkan^[3].

Fly ash adalah limbah industri dari senyawa anorganik pozzolan yang terjadi akibat pembakaran batu bara di pembangkit listrik tenaga panas. Di dalam bidang konstruksi dan industri, *fly ash* digunakan sebagai bahan aditif dalam produksi semen^[4].

Abu terbang atau *fly ash* apabila dibiarkan saja dan tidak di manfaatkan kembali akan mengakibatkan pencemaran terhadap lingkungan yang mana abu terbang memiliki kandungan beberapa unsur yang bersifat racun seperti arsenik, vanadium, antimoni, boron dan kromium. Oleh karena itu upaya dalam mengurangi pencemaran lingkungan dari hasil limbah abu terbang dengan memanfaatkannya sebagai bahan tambahan (*additive*) dalam proses pembuatan semen^[5].

Metodologi Penelitian

Bahan kimia

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah semen tipe I (OPC) produksi PT. Semen Padang dan 5 sumber *fly ash* dari berbagai pabrik industri yaitu *fly ash* PT RAPP, *fly ash* PT Sari Dumai Sejati, *fly ash* PLTU

Sebalang Sumatera Selatan, *fly ash* PLTU Teluk Sirih, *fly ash* Sinar Mas Dumai, stronsium nitrat ($\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$), gliserol etanol (GE) 1:5, ammonium asetat 0.2 N, HCl 1:1, akuades panas, NaOH 1%, indikator metil merah (MM), BaCl_2 10%.

Peralatan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah kantong plastik, neraca analitik digital (Sartorius TE 214S), *stopwatch*, corong, kuas kecil berbulu halus, alat ayakan $45\mu\text{m}$ (Alphine Jet Sieving), alat vikat 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 , tamper, ruang lembab atau *curing chamber*, alat X-ray fluorescence (Rigaku Nex CG), spatula, cawan porselen, *furnace* 800°C (Carbolite CWF 1300) dan 1000°C (Carbolite RHF 1600), *erlenmeyer*, *magnetic bar*, pendingin tegak, *hot plate*, gelas piala (ukuran 250 mL, 400 mL, 600 mL), corong, gelas ukur, kertas saring (ukuran 41 dan 42), cawan platina, penangas, batang pengaduk.

Prosedur penelitian

Persiapan sampel

Bahan baku semen tipe I (OPC) yang telah disiapkan segera ditambahkan dengan masing-masing *fly ash* dari berbagai sumber untuk dihomogenkan. Komposisi sampel dan blanko dibuat sesuai Tabel 1 berikut dan disimpan pada wadah berlabel dengan massa total 4000 g.

Tabel 1. Komposisi sampel dan blanko

No	Sampel Percobaan	Semen Tipe I + <i>Fly ash</i> 10%	Semen Tipe I + <i>Fly ash</i> 20%
1.	Blanko		4000 g
2.	<i>Fly ash</i> PT RAPP	3600 g + 400 g	3200 g + 800 g
3.	<i>Fly ash</i> PT Sari Dumai Sejati	3600 g + 400 g	3200 g + 800 g
4.	<i>Fly ash</i> PLTU Sebalang Sumatera Selatan	3600 g + 400 g	3200 g + 800 g
5.	<i>Fly ash</i> PLTU Teluk Sirih	3600 g + 400 g	3200 g + 800 g
6.	<i>Fly ash</i> PT Sinar Mas Dumai	3600 g + 400 g	3200 g + 800 g

Persiapan reagen

Larutan ammonium asetat ($\text{NH}_4\text{CH}_3\text{CO}_2$) 0,2N

Ditimbang 0.2202 g ammonium asetat, dimasukkan kedalam labu 100 mL lalu ditambahkan akuades sampai tanda batas.

Larutan HCl 1:1

Dipipet 50 mL HCl pekat lalu larutkan dalam labu 100 mL yang sudah berisi akuades sebanyak 30 mL kemudian ditambahkan akuades hingga tanda batas secara perlahan melalui dinding labu.

Larutan NaOH 1%

Ditimbang 1 g NaOH, dimasukkan ke dalam gelas piala 100 mL, lalu dilarutkan dengan akuades sebanyak 30 mL, kemudian dimasukkan larutan NaOH kedalam labu 100 mL dan ditambahkan akuades sampai tanda batas.

Pengujian sifat fisika

Pengujian sisa di atas ayakan (sieve 45 μm)

Pengujian sisa di atas ayakan adalah pengujian yang dilakukan dengan cara mengukur banyaknya semen yang tertinggal di atas ayakan 45 μm dengan alat Alphine Jet Sieving. Sisa di atas ayakan adalah perbandingan antara berat yang tertinggal di atas ayakan dengan berat contoh semula. Pengujian sisa di atas ayakan meliputi langkah-langkah sebagai berikut: ditimbang sampel semen sebanyak 20 g, lalu diletakkan di atas ayakan 45 μm (Alphine Jet Sieving) dan diset waktu selama 3 menit, kemudian ditunggu hingga pengujian selesai sehingga diperoleh berat sisa dan terakhir ditimbang sisa di atas ayakan. Nilai sisa di atas ayakan didapatkan dengan menggunakan rumus:

$$\text{Sisa di atas ayakan} = \frac{\text{berat yang tinggal di atas ayakan}}{\text{berat contoh semula (20 g)}} \times 100\%$$

Pengujian konsistensi normal (normal consistency) dan waktu pengikatan (setting time)

Metode uji ini digunakan untuk menentukan jumlah air yang dibutuhkan pada penyiapan pasta semen hidrolisis untuk pengujian sedangkan sifat pengikatan pada semen dengan air adalah dimaksudkan sebagai gejala terjadinya kekakuan pada adonan tersebut. Semen PCC ditimbang sebanyak 650 g, ditambahkan sejumlah tertentu air kedalam *mixer*. Kemudian semen yang telah ditimbang tadi dibiarkan selama 30 detik, selanjutnya diaduk dengan kecepatan 1 (*low speed*) selama 30 detik, lalu distop selama 15 detik, dilanjutkan dengan kecepatan 2 (*high speed*) selama 1 menit untuk mendapatkan pasta semen. Pasta semen yang diperoleh dibentuk menjadi bola (dengan 6 kali lemparan) kemudian dimasukkan kedalam lubang cincin, selanjutnya pasta dipotong menggunakan pisau aduk segitiga yang selanjutnya dilakukan uji menggunakan alat vicat dengan *setting time* awal yaitu jika jarum vicat menembus 25 mm dan *setting time* akhir yaitu jika jarum vicat tidak menembus dan diperoleh nilai *setting time* awal dan akhir.

$$\text{Normal Consistency} = \frac{\text{jumlah pemakaian air (mL)}}{\text{berat contoh (g)}} \times 100\%$$

Pengujian kuat tekan

Kekuatan tekan adalah sifat kemampuan menahan suatu beban tekan. Kekuatan tekan yang diukur adalah kekuatan mortar terhadap beban yang diberikan. Pengujian kekuatan tekan meliputi langkah-langkah sebagai berikut yaitu ditimbang semen 500 g dan pasir otawa 1375 g, dimasukkan 270 mL air ke dalam *mixer*, dimasukkan semen ke dalam *mixer*, dilanjutkan dengan pasir otawa yang dimasukkan secara perlahan sambil mencampurnya. Dan diisikan adukan mortar ke dalam mould (cetakan (5 x 5 x 5) cm) hingga setengah isi mould, selanjutnya ditumbuk sebanyak 32 kali dengan menggunakan tamper. Dan diisikan kembali adukan mortar ke dalam mould hingga penuh, ditumbuk sebanyak 32 kali. Dipotong kelebihan dan diratakan permukaan menggunakan pisau aduk segitiga, lalu

disimpan di ruang lembab (*curing chamber*) ± 24 jam. Setelah itu, dibuka cetakan dan lakukan perendaman ke dalam air perendam pada *curing chamber* yang mana airnya harus terjaga kebersihannya dan merupakan larutan jenuh kapur padam ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Dilakukan pengujian apabila benda uji telah dikeluarkan dari perendaman untuk pengujian 3, 7 dan 28 hari. 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.

$$\text{Kuat tekan (kg/cm}^2\text{)} = B \times \frac{102}{A}$$

Keterangan:

1 KN = 102 kg

B = rata-rata nilai kuat tekan dari alat

A = luas permukaan benda uji (25 cm²)

Pengujian sifat kimia

Uji bagian tak larut (BTL)

Uji bagian tak larut (*insoluble residue*) pada sampel *fly ash* menunjukkan senyawa yang tidak larut dalam asam HCl yaitu senyawa SiO_2 . Pada pengujian bagian tak larut ini terlebih dahulu ditimbang sampel semen sebanyak 1 g yang dimasukkan kedalam gelas piala 250 mL, ditambahkan 10 mL HCl 1:1 dan diencerkan dengan akuades hingga volume larutan menjadi 100 mL. Larutan yang terbentuk dididihkan hingga mendekati titik didih (hindari terbentuknya gel), selanjutnya disaring menggunakan kertas saring (ukuran 41) kedalam gelas piala 400 mL; dan dicuci gelas piala 250 mL yang telah digunakan tadi beserta kertas saring dan endapan menggunakan akuades panas sebanyak 10 kali hingga volumenya menjadi 200 mL, filtrat yang didapatkan digunakan untuk penetapan SO_3 . Sedangkan kertas saring dan endapan dimasukkan kedalam gelas piala yang berisi 100 mL NaOH 1%, di-digest selama 15 menit sampai sebelum mencapai titik didih NaOH. Selama di-digest sekali-sekali diaduk campuran dan dihancurkan kertas saring dengan batang

pengaduk, lalu diasamkan larutan menggunakan HCl yang dilakukan secara setetes demi setetes dan digunakan indikator metil merah hingga terbentuk larutan berwarna merah muda. Larutan tersebut disaring dengan kertas saring (ukuran 41) dan dicuci endapan sekurang-kurangnya 14 kali dengan akuades panas untuk meyakinkan bahwa kertas saring beserta isinya tercuci sempurna. Kertas saring dan isinya dimasukkan kedalam cawan platina yang telah diketahui beratnya, lalu dipijarkan dengan *furnace* suhu 1000 °C selama 30 menit, didinginkan dan ditimbang abu. Dilakukan penetapan blanko dengan menggunakan pereaksi dan cara yang sama.

$$\% \text{ bagian tak larut} = \frac{\text{berat abu}}{\text{berat sampel}} \times 100\%$$

Uji SO_3

Kandungan SO_3 dalam semen adalah untuk mengatur atau memperbaiki sifat *setting time* (pengikatan) dari mortar (sebagai *retarder*) dan juga untuk kuat tekan. Pengujian SO_3 dilakukan dari filtrat berwarna kuning yang diperoleh dari pengujian Bagian Tak Larut sebanyak 200 mL dipanaskan hingga mendidih, dan ditambahkan tetes demi tetes 10 mL BaCl_2 10 % hingga terbentuk endapan secara sempurna. Endapan disaring menggunakan kertas saring (ukuran 42) dan dicuci dengan air panas, kertas saring beserta isinya dimasukkan kedalam cawan platina yang telah ditimbang. Lalu dipijarkan pada *furnace* selama 30 menit, didinginkan dan ditimbang abu. Dilakukan penetapan blanko dengan menggunakan pereaksi dan cara yang sama.

$$\% \text{ SO}_3 = \frac{\text{berat abu}}{\text{berat sampel}} \times 0.343 \times 100\%$$

Uji hilang pijar loss on ignition (LOI)

Uji ini bertujuan untuk mengetahui senyawa organik atau pengotor yang terkandung dalam sampel. Prosedurnya dilakukan dengan menimbang sampel sebanyak 1 g dalam cawan porselen yang telah diketahui beratnya, lalu dipijarkan hingga mencapai berat konstan dalam *furnace* selama 30 menit, didinginkan dan ditimbang berat akhir.

$$\% \text{ HP} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\%$$

Keterangan:

W1 = berat awal sampel

W2 = berat sisa pijar semen

Uji CaO bebas (freelime)

Dalam analisis ini, digunakan metode volumetri. Pengujian ini dilakukan Tujuan dilakukan analisis terhadap kadar *freelime* ialah untuk mengetahui pengaruhnya terhadap uji fisik pemuai semen. Pengujian CaO bebas, prosedurnya yaitu ditimbang 1 g sampel semen yang dimasukkan kedalam erlenmeyer, ditambahkan stronsium nitrat sebanyak 1-2 g dan gliserol etanol 1:5 sebanyak 45 mL. Kemudian dimasukkan magnetic bar dan dihubungkan dengan pendingin tegak, direfluks selama 30 menit dengan kecepatan pengadukan sedang hingga terbentuk warna merah. Setelah 30 menit berlalu, dilepaskan pendingin tegak dan dilanjutkan dengan proses titrasi menggunakan ammonium asetat 0.2 N hingga warna merah hilang.

$$\% \text{ CaO bebas} = f \text{ as} \times \text{mL as yang terpakai}$$

Keterangan:

as = ammonium asetat

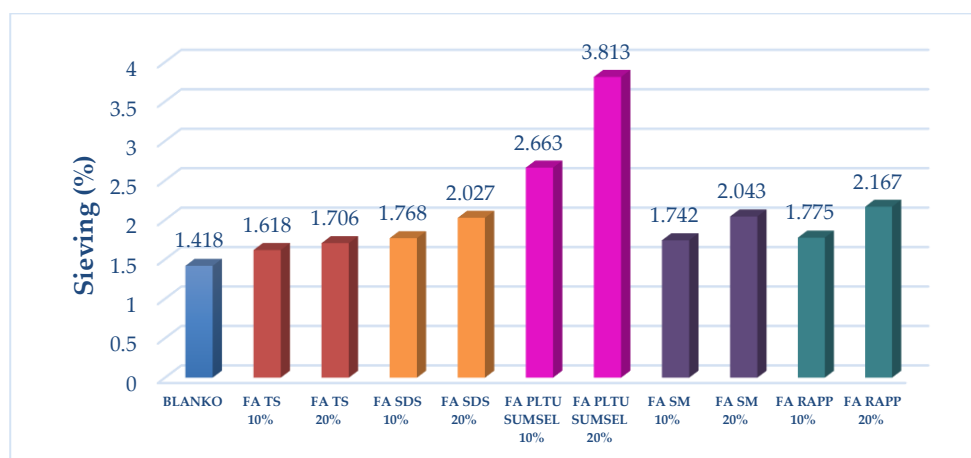
f ammonium asetat = 0.622%

Hasil dan Diskusi

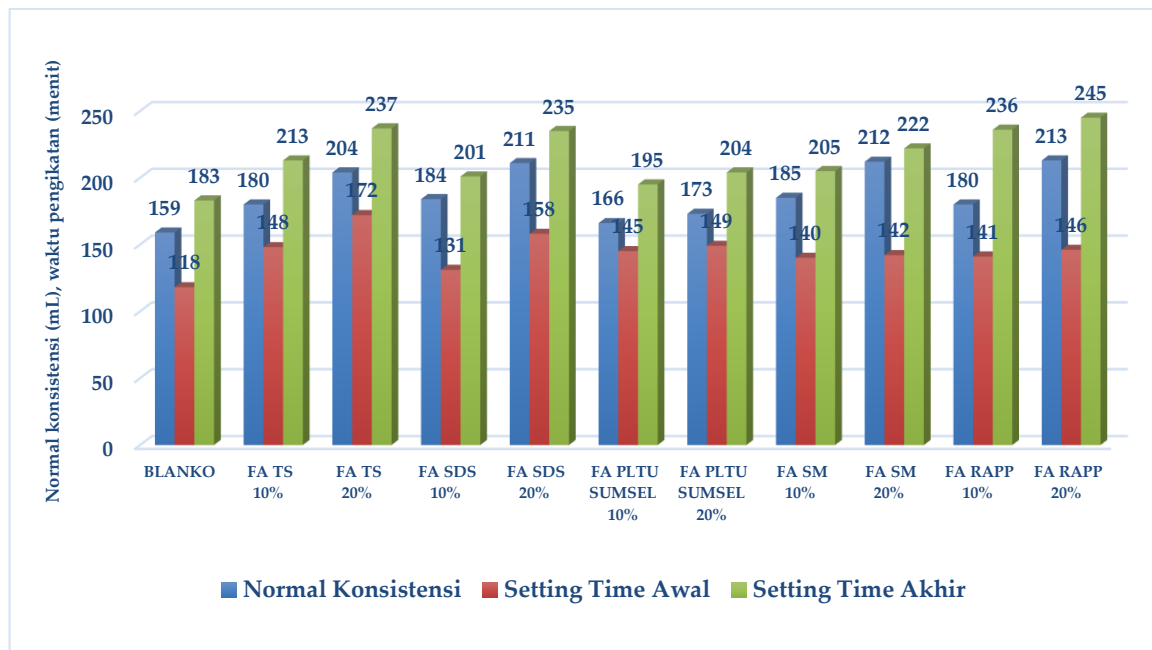
Analisa sifat fisika

Pengujian sisa di atas ayakan (sieve 45 µm)

Berdasarkan dari Gambar 1 dapat dilihat bahwa pengujian sisa di atas ayakan dari 5 sumber yang tertinggi yaitu *fly ash* PLTU Sebalang 20% dengan nilai 3.813%. Hal ini menunjukkan ukuran partikel semen besar sehingga semen yang dapat lolos dari ayakan sedikit. Kehalusan semen berperan penting dalam pengerasan dan juga kuat tekan, semakin halus semen makan akan lebih efektif terjadinya proses interaksi dengan air sehingga kuat tekannya makin besar^[6]. Semakin besar ukuran partikel semen, maka residu yang tertinggal di atas ayakan akan semakin banyak dan juga semakin besar luas permukaan semen dapat meningkatkan proses hidrasi yang akan mempercepat proses pengikatan dan pengerasan semen^[7]. Kehalusan abu terbang dapat mempengaruhi aktivitas pozzolan dan kemampuan kerja beton. Kehalusan abu terbang adalah parameter yang paling signifikan mempengaruhi kesesuaian abu terbang untuk aplikasi dalam beton^[8]. Selain itu, Kehalusan partikel akan mempengaruhi proses hidrasi dan waktu pengikatan (*setting time*). Reaksi yang terjadi antara bahan pozzolan dan air dimulai dari permukaan butir-butir bahan pozzolan, sehingga makin luas permukaan butiran makin cepat terjadi proses hidrasinya^[9].



Gambar 1. Grafik pengujian sisa di atas ayakan 45 µm.



Gambar 2. Grafik konsistensi normal (*normal consistency*) dan waktu pengikatan (*setting time*).

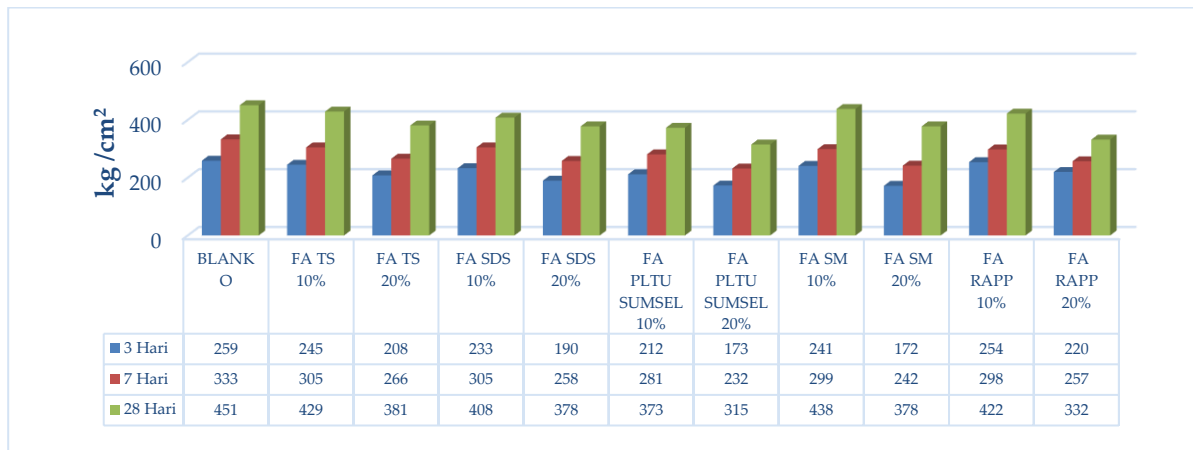
Pengujian konsistensi normal (normal consistency) dan waktu pengikatan (setting time)

Hasil pengujian konsistensi normal (*normal consistency*) dan waktu pengikatan (*setting time*) dapat dilihat pada Gambar 2. Berdasarkan dari hasil pengujian tersebut untuk normal konsistensi didapatkan hasil bahwa air yang ditambahkan bervariasi. Kandungan aluminat sangat mempengaruhi jumlah air pada kondisi normal konsistensi^[6]. *Fly ash* 20% PT RAPP membutuhkan paling banyak air dari beberapa jenis *fly ash* yang diuji yaitu 213 mL. Hal ini disebabkan oleh sifat kehalusan dari *fly ash* itu, semakin kecil partikelnya maka semakin besar luas permukaannya sehingga lebih banyak menyerap air. Penentu awal dan akhir pengikatan pasta semen selain kehalusan ialah waktu ikat. Komposisi mineral dan air yang dipakai sangat mempengaruhi waktu ikat pada semen. Selain itu, air berfungsi untuk memberi mobilitas bagi pasta semen^[6]. Sedangkan untuk waktu pengikatan awal, sampel semen yang mengandung *fly ash* membutuhkan waktu hingga mulai terjadi kekakuan yaitu 131-172 menit, sedangkan untuk waktu pengikatan akhir membutuhkan waktu 195-245 menit. Ini disebabkan karena besar nilai normal

konsistensinya yang dapat menyebabkan waktu pengikatan awal maupun akhir lama, karena semakin besar nilai normal konsistensi maka waktu pengikatan semakin lama. Dibandingkan dengan semen Portland yang strukturnya dominan adalah struktur kristal, *fly ash* memiliki kemampuan menyerap air lebih banyak dikarenakan *fly ash* memiliki struktur amorf^[9]. Semakin besar luas permukaannya, maka semakin halus suatu semen sehingga air yang dibutuhkan untuk mencapai konsistensi normal akan semakin tinggi^[1].

Pengujian kuat tekan

Berdasarkan Gambar 3. menunjukkan bahwa nilai kuat tekan untuk setiap sampel *fly ash* pada konsentrasi 10% dan konsentrasi 20% didapatkan masih berada dalam range SNI 15-7064-2004. Perbedaan kuat tekan semen dapat dilihat dari komposisi mineral, kandungan kapur bebas, magnesium, kandungan gypsum, temperatur, perbandingan air dengan semen, kualitas agregat, cara pengerjaan, dan perlakuan. Semen memiliki 4 kandungan mineral utama yaitu C_3S , C_2S , C_3A , dan C_4AF . Ke-empat mineral utama ini sangat mempengaruhi kuat tekan pada semen^[1].



Gambar 3. Grafik kuat tekan.

Kehalusan dari *fly ash* dengan penggantian semen dalam mortar memberikan kemampuan kerja yang lebih baik namun kuat tekan yang dihasilkan berkurang seiring dengan kenaikan persentase *fly ash*^[10]. *Fly ash* merupakan pozzolan reaktif yang dapat memperlambat proses hidrasi sehingga lambat nya proses hidrasi yang terjadi dapat menurunkan kuat tekan^[11]. Dari 5 jenis *fly ash* dari berbagai sumber maka *fly ash* PT Sinar Mas 10% memberikan hasil kuat tekan lebih besar pada umur 28 hari yaitu sebesar 438 kg/cm². Hal ini disebabkan karena jenis dari masing-masing *fly ash* yang berbeda serta variasi konsentrasi *fly ash*. Dapat dilihat di Gambar 3 bahwa semakin tinggi konsentrasi *fly ash* yang dicampurkan maka semakin kecil nilai kuat tekan nya. Berdasarkan pengujian XRF yang telah dilakukan pada lampiran 4. Data XRF bahwa *fly ash* PLTU SUMSEL mengandung SiO₂ tinggi dibandingkan dengan ke-empat jenis *fly ash*. Semakin besar kandungan silika yang terdapat di dalam *fly ash* maka dapat memperlambat reaksi hidrasi di dalam semen yang dapat menurunkan nilai kuat tekan. Kuat tekan semen yang baik apabila nilai kuat tekan selama 1 hari, 3 hari, 7 hari, dan 28 hari semakin meningkat^[1]. Semakin lama waktu dari umur pengujian kuat tekan maka kuat tekan yang dihasilkan semakin besar dan semakin keras semen yang terbentuk. Sehingga semakin bagus kualitas dari semen yang dihasilkan.

Analisa sifat kimia

Uji bagian tak larut (BTL)

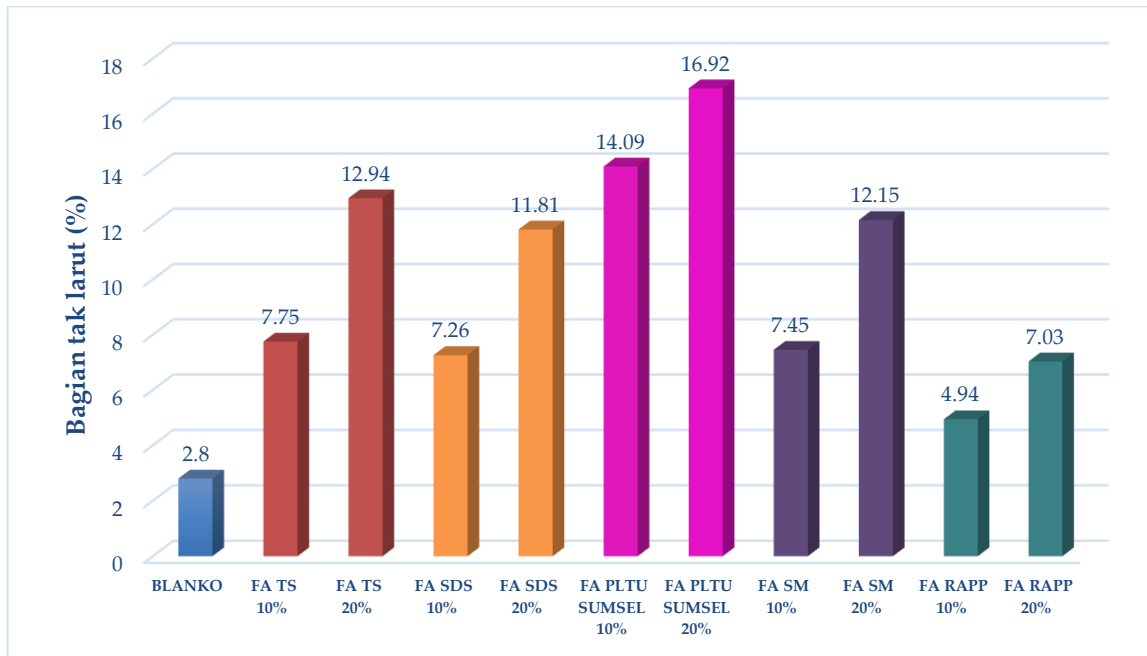
Berdasarkan hasil uji bagian tak larut pada Gambar 4. dapat dilihat bahwa sampel yang tertinggi ialah *Fly ash* PLTU Sebalang 20% yaitu sebesar 16.92% sedangkan untuk sampel yang terkecil ialah *Fly ash* PT RAPP 10% yaitu sebesar 4.94%. Hal ini disebabkan karna kandungan silika pada *fly ash* PLTU Sebalang lebih tinggi dibandingkan dengan sampel yang lain. Semakin tinggi kandungan silika maka semakin tinggi juga nilai bagian tak larutnya. Hal ini menunjukkan bahwa semakin mudah *fly ash* larut maka dapat meningkatkan kuat tekan^[12]. Nilai bagian tak larut menunjukkan bahwa semakin banyak zat pengotor yang tidak habis bereaksi dalam proses kalsinasi atau pembakaran dalam *rotary ciln* biasanya senyawa silika^[13].

Uji hilang pijar loss on ignition (L.O.I)

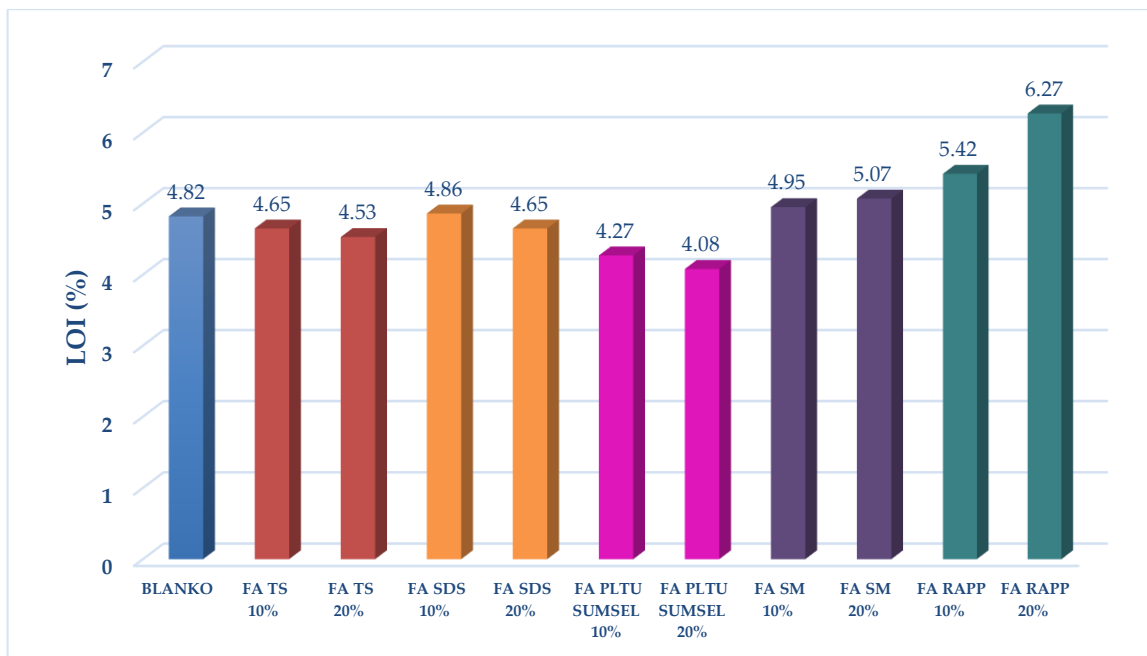
Berdasarkan Gambar 5. menunjukkan bahwa nilai LOI yang tertinggi yaitu *fly ash* PT RAPP 20% yaitu sebesar 6.27%. Sampel *fly ash* PT Sinar Mas, *fly ash* PT RAPP 20% menghasilkan nilai LOI yang lebih besar daripada konsentrasi 10%, dikarenakan jumlah semen yang dibutuhkan makin berkurang sehingga jumlah CaCO₃ yang terdapat di dalam semen makin kecil, akibatnya CO₂ yang dihasilkan berkurang.

Semakin besar nilai LOI maka akan dapat mempengaruhi kuat tekan^[12]. Nilai LOI yang besar disebabkan oleh penguapan air dan

sejumlah kecil pengotor organik dan penguaraian mineral karbonat^[14].



Gambar 4. Grafik uji bagian tak larut.

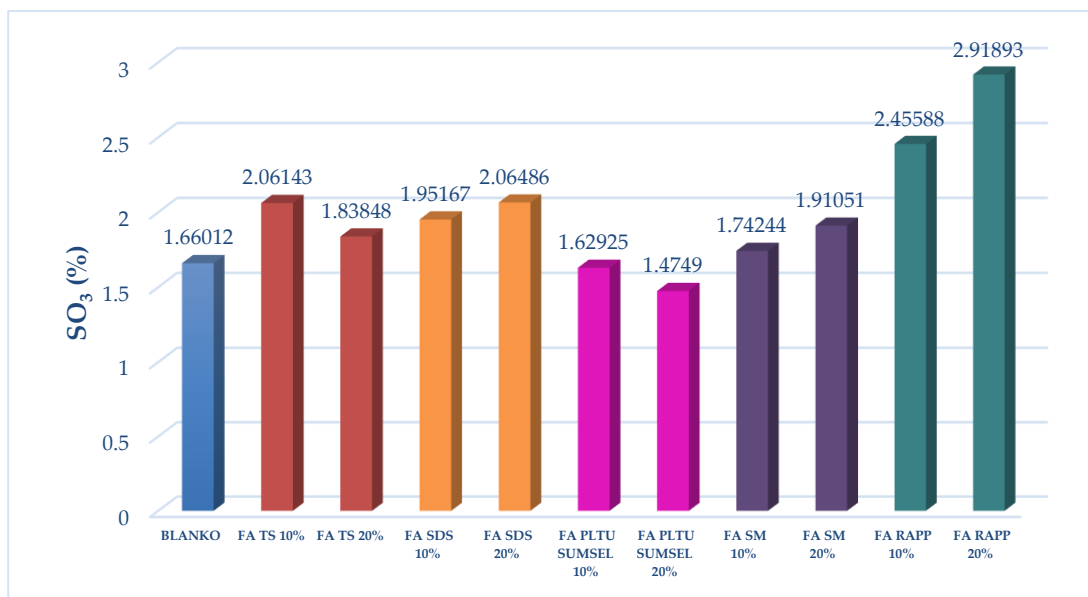


Gambar 5. Grafik uji hilang pijar (LOI).

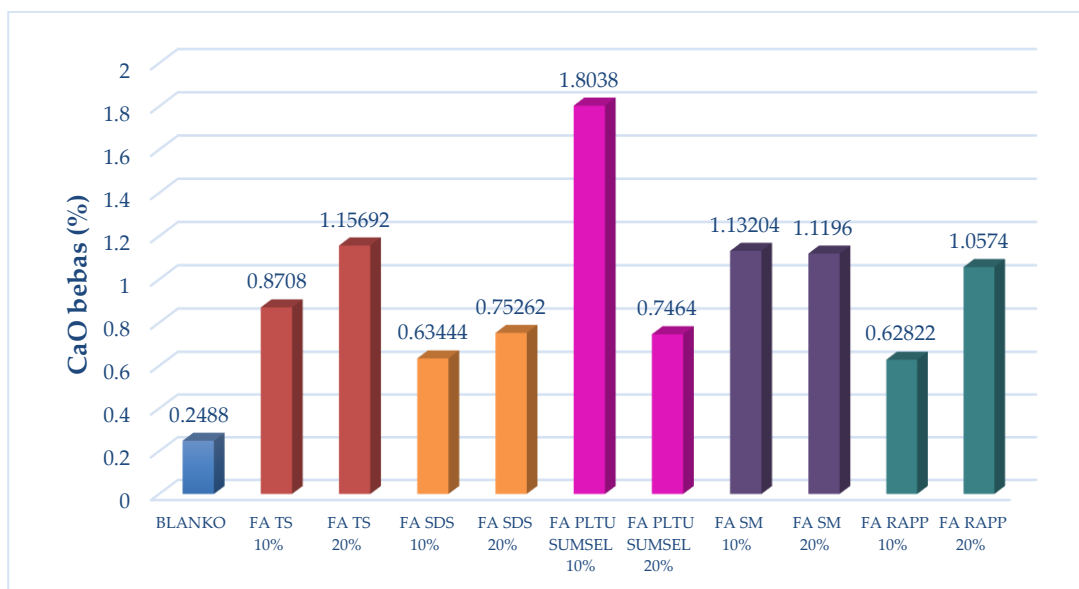
Uji SO_3

Kandungan SO_3 dalam semen adalah untuk mengatur atau memperbaiki sifat *setting time* (pengikatan) dari mortar (sebagai *retarder*) dan juga untuk kuat tekan. Karena kalau pemberian *retarder* terlalu banyak akan menimbulkan kerugian pada sifat *expansive* dan dapat menurunkan kekuatan tekan. Sebagai sumber

utama SO_3 yang sering banyak digunakan adalah gipsum^[15], berdasarkan Gambar 6. menunjukkan bahwa sampel yang memiliki nilai SO_3 yang tertinggi adalah *fly ash* PT RAPP 20% sebesar 2.91893%. Hal ini menunjukkan semakin tinggi jumlah SO_3 akan mengakibatkan waktu pengikatan atau pengerasan yang lama (*long setting*), begitu juga sebaliknya.



Gambar 6. Grafik uji SO_3 .



Gambar 7. Grafik uji CaO bebas.

Uji CaO bebas (*freelime*)

Pengujian analisis kadar *freelime* ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap uji fisik pemuai semen. Berdasarkan Gambar 7. hasil uji CaO bebas dapat dilihat bahwa sampel yang paling tinggi *fly ash* PLTU Sebalang 10% sebesar 1.8038%. Jika kadar kapur bebas yang dimiliki oleh semen berlebih, berakibat semen tersebut tidak kuat dan rapuh. Semakin tinggi kadar CaO bebas maka kuat tekan menjadi berkurang^[16].

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan terhadap pengaruh sifat fisika pada semen tipe I (OPC) dapat disimpulkan bahwa parameter utama dalam menentukan kualitas semen sangat ditentukan oleh kuat tekan. Pemanfaatan *fly ash* dapat mempengaruhi kuat tekan dikarenakan adanya kandungan SiO₂ yang berperan sebagai pengisi (*filler*) yang mengakibatkan lapisannya akan semakin rapat sehingga akan mempengaruhi kuat tekan. Semakin besar komposisi *fly ash* yang dicampurkan maka akan memperlambat proses hidrasi semen yang dapat mempengaruhi penurunan kuat tekan. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa komposisi optimum *fly ash* adalah 10%. Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan dapat disimpulkan bahwa nilai kuat tekan tertinggi adalah berasal dari *fly ash* PT Sinar Mas 10% yakni sebesar 438 kg/cm² pada umur 28 hari.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada semua pihak yang telah membantu dalam penelitian ini, terutama pihak PT. Semen Padang yang memfasilitasi sarana penelitian.

Daftar Pustaka

1. Purnawan, I. & Prabowo, A., Pengaruh penambahan limestone terhadap kuat tekan semen portland komposit. *J. Rekayasa Proses*, **11(2)**: 86 (2018).
2. Firnanda, A., Kurniawandy, A. & Ermiyati, E., Kuat tekan beton dan waktu ikat semen portland komposit (PCC). *J. Online Mhs. Fak. Tek. Univ. Riau*, **1(1)**: 1–11 (2014).
3. Hariawan, J. B., Pengaruh perbedaan karakteristik type semen ordinary portland cement (OPC) dan portland composite cement (PCC) terhadap kuat tekan mortar. Universitas Gunadarma, (2007).
4. YAZICI, Ş. & AREL, H. Ş., Effects of fly ash fineness on the mechanical properties of concrete. *Sadhana*, **37(3)**: 389–403 (2012).
5. Philip, A., Marthin, M., Sumajouw, D. J. & Windah, R. S., Pengaruh penambahan abu terbang (*fly ash*) terhadap Kuat tarik belah beton. *J. Sipil Statik*, **3(11)**: 729–736 (2015).
6. Pratama, S. W. I., Rauf, N. & Juarlin, E., Pembuatan dan pengujian kualitas semen portland yang diperkaya silikat abu ampas tebu. *Universitas Hasanuddin*, (2015).
7. Priambodo, I. S., Pengaruh penambahan *fly ash* terhadap kualitas fisika dan kimia pada produksi portland composite cement (PCC). Universitas Muhammadiyah Purwokerto, (2016).
8. Kesharwani, K. C., Biswas, A. K., Chaurasiya, A. & Rabbani, A., Experimental study on use of fly ash in concrete. *Int. Res. J. Eng. Technol.*, **4(9)**: 1527–1530 (2017).
9. Rommel, E., Kurniawati, D. & Pradipta, A. P., Perbaikan sifat fisik dan reaktifitas fly ash sebagai cementitious pada beton. *Media Tek. Sipil*, **12(2)**: (2015).
10. Madurwar, K., Burile, A. & Sorte, A., Compressive strength of cement & fly ash mortar: a case study. in *Proceedings of Sustainable Infrastructure Development & Management (SIDM)*, **(1)**: (2019). doi:10.2139/ssrn.3376014
11. Harison, A., Srivastava, V. & Herbert, A., Effect of fly ash on compressive strength of Portland pozzolona cement concrete. *J. Acad. Ind. Res.*, **2(8)**: 476–479 (2014).
12. Ulum, M. B., Karakteristik fisik dan kimia

- fly ash dari perusahaan ready mix beton dan limbah pabrik terhadap sifat mekanik pasta dan mortar. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, (2015).
13. Weluk, A. F. B., Verifikasi metode penentuan hilang pijar, bagian tak larut (BTL), Fe_2O_3 , dan SO_3 dalam semen OPC di Plant IX PT. Indocement Tunggal Prakarsa Tbk. Palimanan-Cirebon. Universitas Islam Indonesia, (2018).
 14. Li, Y., Lin, H. & Wang, Z., Quantitative analysis of fly ash in hardened cement paste. *Constr. Build. Mater.*, **153**: 139–145 (2017).
 15. Farida, R., Optimasi karakteristik kualitas portland pozzoland cement menggunakan metode Taguchi dengan pendekatan fungsi desirability regresi fuzzy Di PT. Semen Indonesia (Persero), Tbk. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, (2017).
 16. Kaewmanee, K., Krammart, P., Sumranwanich, T., Choktaweekarn, P. & Tangtermsirikul, S., Effect of free lime content on properties of cement–fly ash mixtures. *Constr. Build. Mater.*, **38**: 829–836 (2013).