

PENGARUH FLY ASH TERHADAP KADAR SO₃ DAN WAKTU IKAT SEMEN

Putri Rahayu^{*1}, Mariyamah², Novadri Anase³, Safaruddin⁴

^{1,2} Universitas Islam Negeri Raden Fatah Palembang, Indonesia

^{3,4} PT.Semen Baturaja, Indonesia

Corresponding Author: putriirahayu5609@gmail.com

<p>Info Article Received : 02 April 2025 Revised : 01 May 2025 Accepted : 01 June 2025 Publication : 30 June 2025</p>	<p>Abstract: <i>Cement is the main material in construction which is produced from various raw materials such as limestone, iron sand, clay, silica sand, and gypsum. One of the additives often used in cement production is fly ash, which is the residue of burning coal which has the main content of SiO₂, Al₂O₃, and Fe₂O₃. This study aims to review the effect of using several fly ash on SO₃ content and cement binding time, in order to optimise the use of fly ash as an environmentally friendly additive while improving cement quality. The results of the analysis The use of different fly ash with a percentage of 10% and 15% of the lowest SO₃ content is PLTU bukit asam and the highest is PT Priamanaya The use of fly ash with a percentage of 10% and 15% of different types also affects the binding time. The difference in binding time in different types of fly ash is caused by several factors, namely the particle size of fly ash also affects the binding time. Fly ash with larger or coarser particles tends to slow down the binding time. and Different Chemical composition Fly ash consists of oxides such as silica (SiO₂), alumina (Al₂O₃), calcium (CaO), and iron (Fe₂O₃). The longest binding time of acid hill power plant and the fastest binding time of PT Priamanaya</i></p>
<p>Keywords: Fly Ash, Binding Time, SO₃ Content, Additional Ingredients Kata Kunci: Fly Ash, Waktu Ikat, Kadar SO₃, Bahan Tambahan</p>	
<p><i>Licensed Under a Creative Commons Attribution 4.0 International License</i> </p>	<p>Abstrak: Semen merupakan material utama dalam konstruksi yang diproduksi dari berbagai bahan baku seperti batu kapur, pasir besi, tanah liat, pasir silika, dan gipsum. Salah satu bahan tambahan yang sering digunakan dalam produksi semen adalah <i>fly ash</i>, yaitu residu pembakaran batu bara yang memiliki kandungan utama berupa SiO₂, Al₂O₃, dan Fe₂O₃. Penelitian ini bertujuan untuk meninjau pengaruh penggunaan beberapa <i>fly ash</i> terhadap kadar SO₃ dan waktu ikat semen, guna mengoptimalkan pemanfaatan fly ash sebagai bahan tambahan yang ramah lingkungan sekaligus meningkatkan kualitas semen. Hasil analisis Penggunaan <i>fly ash</i> yang berbeda dengan presentase 10% dan 15% kadar SO₃ paling rendah yaitu PLTU bukit asam dan paling tinggi PT Priamanaya Penggunaan <i>fly ash</i> presentase 10% dan 15% jenis yang berbeda juga mempengaruhi waktu ikat. Perbedaan waktu ikat pada jenis <i>fly ash</i> yang berbeda di disebabkan oleh beberapa faktor yaitu ukuran partikel <i>fly ash</i> juga mempengaruhi waktu ikat. <i>Fly ash</i> dengan partikel yang lebih besar atau kasar cenderung memperlambat waktu ikat. dan komposisi Kimia yang Berbeda <i>Fly ash</i> terdiri dari oksida-oksida seperti silika (SiO₂), alumina (Al₂O₃), kalsium (CaO), dan besi (Fe₂O₃). Waktu ikat yang paling lama PLTU bukit asam dan waktu ikat paling cepat PT Priamanaya</p>

PENDAHULUAN

Bahan baku utama proses produksi semen diantaranya batu kapur, pasir besi, tanah liat, pasir silika dan gypsum. Perbandingan komposisi masing-masing bahan baku tersebut berpengaruh terhadap jenis dan karakteristik semen yang dihasilkan. Beberapa jenis karakteristik semen, memiliki aplikasi yang berbeda-beda diantaranya pada sektor konstruksi bangunan, pelabuhan, perkapalan, perumahan, pertambangan, pengeboran minyak dan infrastruktur.

Material tambahan yang biasa digunakan antara lain *fly ash*. *Fly ash* atau abu terbang adalah material yang memiliki ukuran butiran yang halus berwarna ke abu-abuan dan diperoleh dari hasil pembakaran batubara (Wardani, 2008). *Fly ash* merupakan residu mineral dalam butir halus yang dihasilkan dari pembakaran batu bara yang dihaluskan pada suatu pusat pembangkit listrik. *Fly ash* terdiri dari bahan inorganik yang terdapat di dalam batu bara yang telah mengalami fusi selama pembakarannya. Bahan ini memadat selama berada di dalam gas-gas buangan dan dikumpulkan menggunakan presipitator elektrostatik. Bahan ini terutama terdiri dari silikon dioksida (SiO_2), aluminium oksida (Al_2O_3) dan besi oksida (Fe_2O_3). (Wardani, 2008).

Jika tidak diolah lebih lanjut, *fly ash* dapat menyebabkan dampak negatif bagi lingkungan. *Fly ash* dapat mengkontaminasi air tanah dengan kandungan pengotor seperti arsenik, barium, berillium, boron, cadmium, komium, thallium, selenium, molibdenum dan merkuri. *fly ash* umumnya dibuang di landfill atau ditumpuk begitu saja di dalam area industri. Penumpukkan abu terbang batubara ini menimbulkan masalah bagi lingkungan (Eka Yunita, 2017).

Beberapa penelitian yang telah dilakukan untuk meninjau pengaruh bahan tambah terhadap peningkatan mutu (Damayanti dan Rochman, 2006) melakukan penelitian dengan menambahkan microsilica dan *fly ash* dalam campuran beton. Penelitian ini menghasilkan kuat tekan beton maksimum pada umur 28 hari sebesar 69,736 MPa dengan perbandingan kadar microsilica 10% dan *fly ash* 0%, dengan menggunakan fas 0,3. (Pujianto, 2010) dengan menggunakan bahan tambah superplasticizer dan *fly ash* menghasilkan kuat tekan beton maksimum pada umur 28 hari sebesar 57,11 MPa dengan kadar superplasticizer yang digunakan sebesar 2% dan *fly ash* 12% dengan fas 0,3. Berdasarkan hal tersebut penulis memilih penelitian yang berjudul tentang “Pengaruh Penggunaan *Fly Ash* Terhadap Kadar SO_3 dan Waktu Ikut Semen”.

METHOD

Analisis Kadar SO₃

Metode yang digunakan berdasarkan pengujian SNI 15-2049-2004 dengan ditimbang 1 gram semen ditambahkan 25 ml aquadest dingin, ditambahkan 5 ml HCl sambil diaduk, kemudian ditambahkan 50 ml aquadest dipanaskan selama 15 menit, . Disaring menggunakan Kertas saring dengan pori-pori berukuran medium (*Whatman 41*), dicuci residu dengan aquadest panas, setelah itu panaskan, Tambahkan 10 mL BaCl₂ dan lanjutkan pemanasan hingga terbentuk endapan, dan disaring dengan kertas saring (*whatman 42*), cuci endapan dengan aquades panas, letakkan kertas saring dan isinya dalam krusibel yang telah ditimbang. Endapan dipijarkan dan timbang kadar SO₃ dengan ketelitian 0,01%. Rumus perhitungan SO₃ sebagai berikut :

$$\% \text{SO}_3 = W \times 34,3$$

Keterangan :

W = Gram BaSO₄ terhadap sampel

34,3 = Perbandingan molekul SO₃ terhadap BaSO₄ (0,343) dikalikan 100

Waktu Ikat

Prosedur yang digunakam sesuai dengan SNI 15-2049-2004. Disiapkan 650 gram semen. Memasukkan 50 ml air pencampur tersebut dan semen lalu didiamkan selama 30 detik, Jalankan mesin dengan kecepatan rendah selama 30 detik, Hentikan mesin selama 15 detik bersihkan pasta yang melekat pada dinding mixer, Jalankan mesin pengaduk dengan kecepatan sedang dan aduk selama 1 menit.

Pembuatan Benda Uji

Bentuk pasta semen menyerupai bola, Lempar-lempar bola pasti diantara kedua telapak tangan dengan jarak lemparan 150mm sebanyak 6 kali, Tekan bola istirahatkan masukkan ke dalam cincin yang berlubang besar. Letakkan akhir lubang cincin yang besar diatas pelat dan iris lebihan pasta pada akhir lubang cincin yang kecil (bagian atas dan cincin), Ratakan permukaan benda uji, bila perlu satu kali atau dua kali sentuhan sampai permukaan mengkilap,

Penentuan Konsistensi

Letakkan batang peluncur B ditengah-tengah pasta dalam cincin, Tempelkan ujung batang peluncur C pada permukaan pasta dan kuncilah baut E, Atur skala indikator F pada tanda nol dan skala, Lepaskan batang peluncur paling lama 30 detik

setelah selesai pembuatan pasta alat harus bebas dari getaran selama pengujian, Pengerjaan ini dilakukan dengan memakai persetasi air yang bervariasi sehingga tercapai konsistensi normal.

Penentuan waktu ikat

Simpan benda uji dalam ruang lembab selama 30 menit, Nol kan skala penetrasi dan turunkan jarum D sampai tepat menempel pada permukaan pasta semen, Kencangkan baut E dan atur indikator F diatas skala, tepatkan pada skala 0, Bebaskan batang dengan melonggarkan baut E secara cepat dan biarkan jarum turun selama 30 detik kemudian baca skala tersebut, Tentukan penetrasi dengan menggunakan jarum vikat diameter 1mm. Ulangi setiap 15 menit sekali hingga mencapai penetrasi 25. Lanjutkan pengukuran setiap 15 menit sampai mencapai pengikatan akhir, Catat hasil pengujian penetrasi pada setiap periode pengujian kemudian tentukan waktu pengikatan awal dan waktu pengikatan akhir dengan seksama.

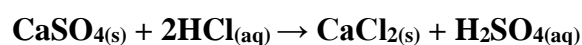
RESULT AND DISCUSSION

Results

Fly ash merupakan limbah hasil pembakaran batu bara yang berupa *fly ash* yang terbawa bersama gas buang panas selama prosese pemebekaran batu bara. Partikel abu ini kemudian mengendap di sistem kolektor, seperti elektrostatik precipitator atau filter. Komponen utama dari *fly ash* berupa silikon dioksida (SiO₂), kalsium oksida (CaO), alumunium oksida (Al₂O₃), dan ferioksida (Fe₂O₃) dengan tingginya kandungan silika dan oksida-oksida tersebut fly ash memiliki sifat pozzolan yang dapat dimanfaatkan dalam pembuatan semen (Blisset et al., 2012).

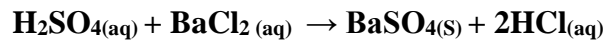
Hasil Sulfur Trioksida (SO₃)

Analisi SO₃ atau sulfur trioksida, menggunakan metode gravimetri adalah metode klasik yang menggunakan *precipitation* (pengendapan). Pada analisis ini Semen dicampur aquades dan HCl. Fungsi penambahan HCl untuk mengasamkan sampel sehingga mineral dapat larut, mengubah semua sulfat menjadi sulfat larut dalam air. Berikut reaksi yang terjadi:



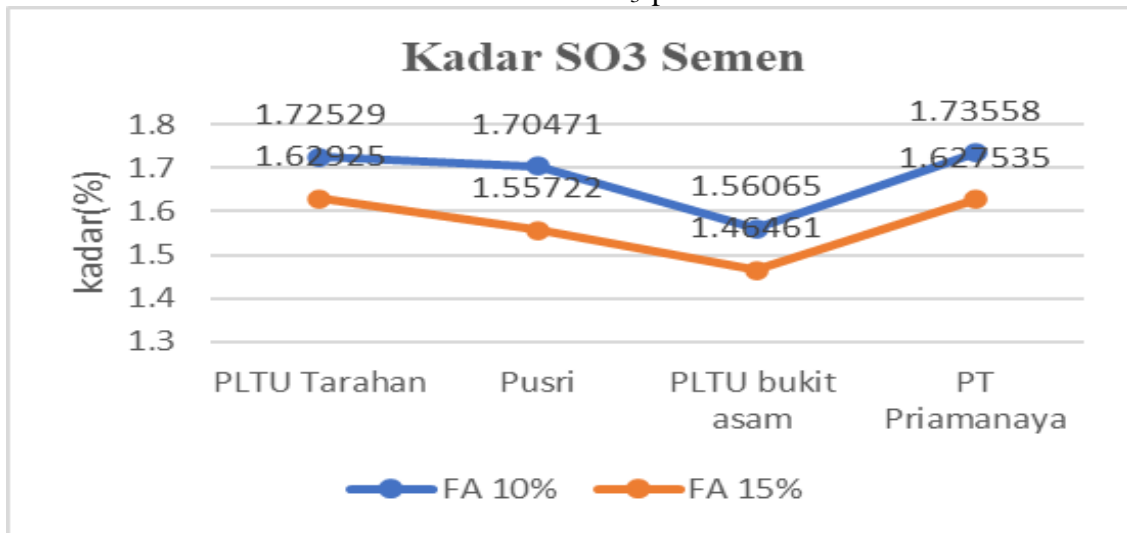
CaSO₄ bereaksi dengan asam klorida (HCl) untuk membentuk kalsium klorida (CaCl₂) dan asam sulfat (H₂SO₄).

Setelah dihasilkan produk CaCl_2 dan H_2SO_4 Kemudian disaring dengan kertas saring berukuran *Whatman* 41, kemudian larutan dipanaskan hingga mendidih sebelum ditambahkan BaCl_2 , setelah itu ditambahkan BaCl_2 hingga membentuk endapan putih, pemanasan bertujuan untuk memastikan bahwa reaksi berjalan dengan optimal. Setelah tambahkan BaCl_2 dipanaskan lagi sampai terbentuk endapan. Berikut reaksi yang terjadi



Pada kondisi asam atau pH asam dalam sampel akan mengalami perubahan menjadi ion SO_4^{2-} dan dapat mengendap secara efisien dengan penambahan BaCl_2 , yang menghasilkan endapan BaSO_4 . Prinsip dari analisis ini adalah sulfat diendapkan sebagai BaSO_4 , dari larutannya yang asam dan panas dengan larutan BaCl_2 , endapan disaring, dicuci dengan aquades panas dan ditimbang sebagai BaSO_4 (Austin,1996). Penggunaan aquades panas penting karena BaSO_4 diharapkan tidak akan larut dalam air panas, kecuali jika terdapat Asam Sulfat pekat yang mendidih Endapan BaSO_4 ini dapat dideteksi setelah penambahan HCl dan larutan BaCl_2 , dan digunakan untuk menghitung kadar SO_3 . Maka didapatkan hasil sesuai grafik dibawah ini.

Gambar 4.1 Grafik kadar SO_3 pada Semen



Apabila persentase SO_3 memenuhi ketentuan SNI yaitu tidak melebihi 3,5%, maka sampel yang dianalisis dapat dikatakan mutu baik. Sebaliknya jika mengandung sulfur trioksida terlalu sedikit atau kurang dari 1,0% maka semen yang bercampur air akan cepat mengeras. Berdasarkan dari grafik diatas pada penambahan fly ash 10% dan 15% pada persentase 10% *fly ash* PLTU tarahan 1,72529%, pusri 1,70471%, PLTU bukit asam 1,56065% , dan PT priamanaya 1,73558% tetapi pada presentase

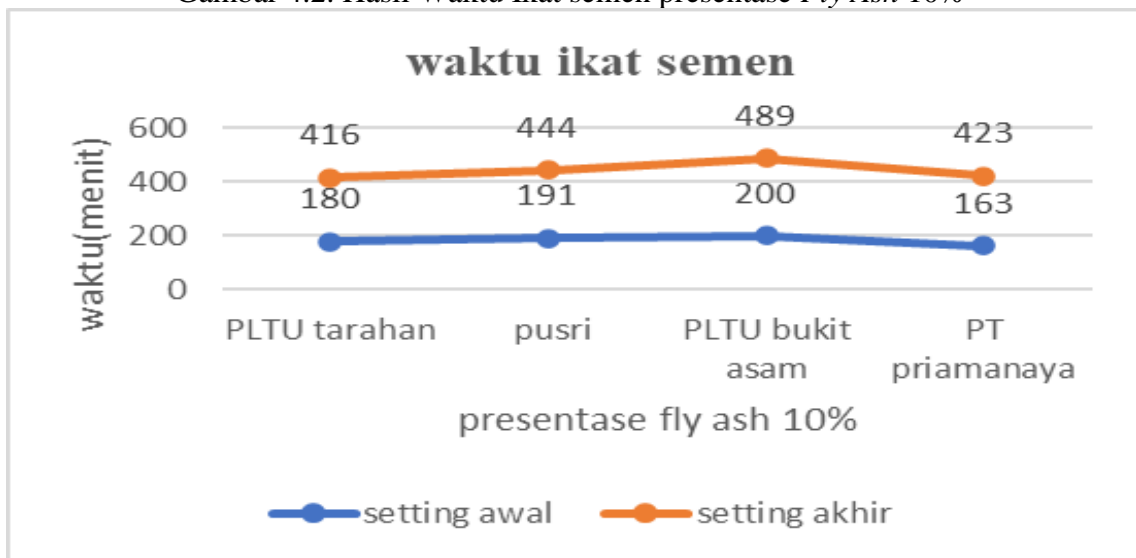
15% mengalami penurunan kadar SO_3 pada PLTU tarahan 1,62925%, pusri 1,55722%, PLTU bukit asam 1,46461%, dan PT priamanaya 1,627535%. Ini karena *Fly ash* adalah bahan pozzolan yang dapat digunakan sebagai pengganti sebagian klinker dalam produksi semen.

Klinker adalah komponen utama semen yang mengandung kalsium sulfat (CaSO_4), yang berkontribusi terhadap kadar SO_3 . Ketika *fly ash* ditambahkan, proporsi klinker berkurang, sehingga kandungan SO_3 dalam campuran semen juga menurun. Pada setiap sumber *fly ash* yang berbeda kadar SO_3 yang dihasilkan berbeda karena ada beberapa faktor yaitu jenis dan kualitas batu bara yang digunakan, suhu pembakaran, dan waktu penyimpana semakin lama *fly ash* akan mengalami perubahan kimia akibat lingkungan.

Hasil Waktu Ikat

Selanjutnya uji fisika waktu ikat (*setting time*) adalah waktu yang diperlukan semen untuk mengeras ketika semen dicampur dengan air hingga membentuk pasta. Reaksi semen dengan air merupakan reaksi hidrasi. Menurut (Darmawan dkk, 2008) proses hidrasi merupakan reaksi kimia antara semen dengan air yang dicampur dan dalam campuran tersebut terdiri komponen utama semen yaitu Trikalsium silikat (C_3S), dikalsium silikat (C_2S), trikalsium Aluminat (C_3A), dan tetra kalsium alumino ferit (C_4AF).

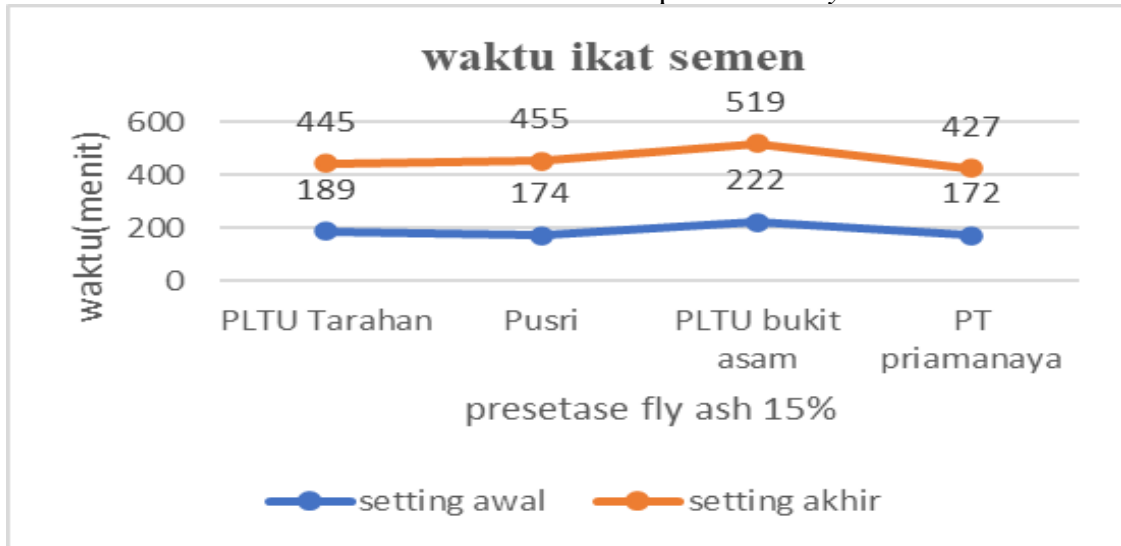
Gambar 4.2. Hasil Waktu Ikat semen presentase *Fly Ash* 10%



Hidrasi awal terjadi setelah semen dicampur dengan air, C_3S dan C_2S menghasilkan *kalsium silikat hidrat* (CSH) dan kalsium silikat hidrat (CH). untuk setiap

persentase penambahan fly ash dari tarahan, primanya, pusri, dan PLTU bukit asam persentase 10% dan 15%. Pengujian waktu ikat dengan cara bola pasta semen didiamkan dalam cincin ebonite selama 120 menit. Setelah itu dilakukan penetrasi setelah 15 menit. Berikut grafik waktu ikat semen.

Gambar 4.3. Hasil Waktu Ikat semen presentase *Fly Ash* 15%



Berdasarkan grafik diatas pengujian setting awal fly ash presentase 10% seting awal dari PLTU tarahan 180 menit, pusri 191 menit, PLTU bukit asam 200 menit dan PT priamanaya 163 menit dan seting akhir PLTU tarahan 416 menit, pusri 444 menit, PLTU bukit asam 489 menit dan PT priamanaya 423 menit dari 4 jenis fly ash yang digunakan primanaya, tarahan, pusri 3 jenis fly ash ini cukup cepat dalam waktu seting awal dan akhir nya dan PLTU bukit asam paling lama.

Pada fly ash presentase 15% Seting awal PLTU tarahan 189 menit, pusri 174 menit, PLTU bukit asam 222 menit dan PT priamanaya 172 menit dan seting akhir PLTU tarahan 445 menit, pusri 455 menit, PLTU bukit asam 519 menit dan PT priamanaya 427 menit. Seting awal ini bertujuan untuk mengetahui berapa lama waktu pengikatan semen yang akan terjadi setelah proses konsistensi normal pada selang waktu 15 menit setelah hasil konsistensi. Sedangkan seting akhir bertujuan untuk mengetahui semen mengeras setelah proses seting awal. Pada seting akhir ini telah mencapai kekakuan atau kestabilan yang meberikan kekuatan pada campuran semen.

Dari analisi SO_3 dan waktu ikat penggunaan fly ash dari PLTU tarahan, pusri, PT priamanaya, dan PLTU bukit asam dapat dilihat berbanding terbalik yang mana pada fly ash presentase 15% kadar SO_3 rendah sedangkan pada waktu ikat semakin lama.

Hal ini menunjukkan semakin rendah kadar SO_3 akan mengakibatkan waktu pengikatan atau pengerasan yang lama (long setting), begitu juga sebaliknya tetapi jika kadar SO_3 melebihi SNI 3,5% maka waktu pengerasan akan semakin lama.

Pengguna *fly ash* untuk campuran juga mempengaruhi waktu ikat *fly ash*, sebagai bahan pozzolan, cenderung memperlambat reaksi hidrasi semen karena partikel *fly ash* membutuhkan waktu lebih lama untuk bereaksi dengan air dan kalsium hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) yang dihasilkan dari hidrasi semen. Ketika kadar SO_3 pada campuran *fly ash* lebih rendah, jumlah gypsum juga berkurang sehingga, pengendalian terhadap reaksi cepat antara air dan senyawa sama seperti C_3A (tricalcium aluminate) menjadi kurang efektif akibatnya waktu pengikatan akan semakin lambat.

Perbedaan waktu ikat pada jenis *fly ash* yang berbeda di disebabkan oleh beberapa faktor yaitu ukuran partikel *fly ash* juga mempengaruhi waktu ikat. Partikel yang lebih halus akan mempercepat hidrasi karena memiliki luas permukaan yang lebih besar untuk berinteraksi dengan air dan senyawa semen. *Fly ash* dengan partikel yang lebih besar atau kasar cenderung memperlambat waktu ikat. dan komposisi Kimia yang Berbeda *Fly ash* terdiri dari oksida-oksida seperti silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), kalsium (CaO), dan besi (Fe_2O_3).

CONCLUSION

Berdasarkan hasil analisis *fly ash* pada belangko semen PCC dengan menggunakan SO_3 , dan Seting time semen di PT Semen Baturaja 1, dapat disimpulkan bahwa:

1. Penggunaan *fly ash* yang berbeda dengan presentase 10% dan 15% kadar SO_3 paling rendah yaitu PLTU bukit asam dan paling tinggi PT priamanaya
2. Penggunaan *fly ash* presentase 10% dan 15% jenis yang berbeda juga mempengaruhi waktu ikat. Waktu ikat yang paling lama PLTU bukit asam dan waktu ikat paling cepat PT Priamanaya

REFERENCES

- Blissett, R.S., & Rowson, N.A. (2012). A REVIEW OF THE MULTI-COMPONENT UTILISATION OF COAL FLY ASH. Elsevier, 97, 1-23.
<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2012.03.024>
- Pujianto, A.. (2010). BETON MUTU TINGGI DENGAN BAHAN TAMBAH SUPERPLASTICIZER DAN FLY ASH, Jurnal Ilmiah Semesta Teknik UMY, Vol. 13, No. 2, pp 171-180.

- SNI-15-7064-2014. (2014). PORTLAND COMPOSITE CEMENT. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Wardani. (2008). PEMANFAATAN LIMBAH BATUBARA (FLY ASH) UNTUK STABILISASI TANAH MAUPUN KEPERLUAN TEKNIK SIPIL LAINNYA DALAM MENGURANGI
- Yunita, Eka., Rahmaniah, & Fitriyanti. (2017). ANALISIS POTENSI DAN KARAKTERISTIK LIMBAH PADAT FLY ASH DAN BOTTOM ASH HASIL DARI PEMBAKARAN BATUBARA PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (PLTU) PT. SEMEN TONASA. *Fsika dan Terapan*, 4(01).