

PENGARUH VARIASI PENAMBAHAN *BOTTOM ASH* DALAM PASTA SEMEN TERHADAP WAKTU PENGIKATAN AWAL DAN AKHIR

Retno Anggraini, Ristinah, Siti Nurlina
Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Jl. MT. Haryono 167 Malang

ABSTRAK

Bottom ash adalah limbah hasil pembakaran batu bara yang terkumpul di permukaan tanah. Jumlah *bottom ash* semakin meningkat seiring dengan terus berlanjutnya proses pembakaran batubara. Sampai saat ini cara yang digunakan dalam mengatasi limbah ini adalah dengan menimbunnya sehingga diperlukan areal yang luas untuk penimbunan *bottom ash*. Penimbunan *bottom ash* akan mengganggu lingkungan dan masyarakat sehingga perlu dilakukan pengkajian dalam hal pemanfaatan limbah *bottom ash* salah satunya adalah sebagai campuran dalam pembuatan pasta semen. Waktu ikat awal adalah waktu dari pencampuran semen dan air menjadi pasta. Standart waktu yang diperlukan untuk ikat awal adalah 1 – 2 jam. Waktu ikat akhir adalah waktu pasta semen menjadi beton dan siap menerima tekanan. Standart waktu yang diperlukan untuk ikat awal adalah 4 – 6 jam. Penambahan *bottom ash* pada pasta semen dapat mempengaruhi waktu ikat awal dan akhir. Sehingga perlu dilakukan penelitian untuk mengkaji pengaruh *bottom ash* pada pasta semen terhadap waktu pengikatan awal dan akhir. Penelitian ini dilakukan dengan penambahan variasi prosentase *bottom ash* dalam pasta semen kemudian pengujian ikat awal dan ikat akhir dilakukan dengan alat vikat. Data hasil analisa waktu ikat menunjukkan bahwa penambahan *bottom ash* mempengaruhi waktu ikat awal dan akhir pasta semen. Diketahui bahwa prosentase *bottom ash* dari berat semen menghasilkan waktu ikat awal optimum pada kadar *bottom ash* sebesar 8.43 % dengan waktu ikat sebesar 63,867 menit sedangkan pada waktu ikat akhir tidak terdapat pengaruh karena setiap penambahan *bottom ash* waktu ikat, grafik menghasilkan kurva linear.

Kata kunci: *bottom ash*, waktu ikat awal, waktu ikat akhir, pasta semen.

Pendahuluan.

Peranan semen dalam pembuatan beton sangatlah penting, namun kondisi ekonomi yang sulit saat ini telah berdampak juga pada tingginya harga semen. Suatu perkembangan yang lebih lanjut telah menggunakan *bottom ash* yang dikombinasikan dengan semen portland. Hal ini merupakan alternatif untuk mengurangi penggunaan semen portland karena *bottom ash* dianggap dapat digunakan sebagai pengganti semen. Penggunaan *bottom ash* ini dapat berfungsi untuk meningkatkan kekuatan beton, namun juga dapat memperlambat waktu pengikatan dari beton. *Bottom ash* adalah suatu pemanfaatan kembali dari produksi gas pembakar. Oleh karena itu, dalam upaya untuk melindungi pencemaran lingkungan saat ini diharuskan mengambil

tindakan untuk mengurangi pembuangan *bottom ash*.

Berdasarkan pada penelitian yang dilakukan oleh Reski Asmaningrum tentang variasi penambahan *fly ash* dalam pasta. Hasilnya pada sampel pasta yang telah di uji bahwa penggunaan *fly ash* dalam pasta semen dapat berpengaruh terhadap lamanya waktu ikat pasta, dan penggunaan *fly ash* dalam pasta semen dapat memperlambat waktu ikat awal dan waktu ikat akhir pasta. Penelitian waktu ikat awal dan waktu ikat akhir pasta tanpa penambahan *fly ash* menghasilkan waktu ikat awal dan waktu ikat akhir yang lebih cepat daripada waktu ikat awal dan waktu ikat akhir semen berdasarkan tabel semen gresik.

Pada penelitian ini yang akan digunakan dalam campuran semen adalah *bottom ash* dimana tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi

penambahan kadar *bottom ash* pada pasta terhadap waktu pengikatan awal dan akhir semen dan bagaimana pengaruh kadar prosentase 10%, 15%, 20%, 25%, dan 30% komposisi *bottom ash* yang menggantikan berat dari semen terhadap waktu ikat awal dan waktu ikat akhir pasta semen.

Semen portland.

Semen Portland ialah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dengan gips sebagai bahan tambahan [PUIB – 1982]. Semen Portland dibentuk terutama dari bahan kapur (CaO), silica (SiO₂), alumina (Al₂O₃), dan oksida besi (Fe₂O₃). Isi kombinasi dari total 4 oksida tersebut kira-kira 90% dari berat semen, karenanya dikenal sebagai unsur utama atau *major oxydes* di dalam semen. 10% yang lainnya terdiri dari magnesia (MgO), oksida alkali (Na₂O dan K₂O), titania (TiO₂), fosforus pentoksida (P₂O₅), dan gypsum yang dikenal sebagai unsur minor atau *minor oxydes* di dalam semen. Dengan demikian, karakteristik dan perilaku spesifik dari semen akan banyak tergantung pada jenis dan komposisi spesifik dari bahan-bahan dasar yang digunakan dalam campuran produksi semen tersebut.

Sebagian besar semen modern mempunyai kandungan kapur dibawah 65%. Semen dengan kandungan kapur dibawah 65%, pengerasannya sering kali agak lambat. Dalam hal ini, kandungan kapur maksimum dibatasi oleh kebutuhan untuk menghindari kapur bebas dalam semen. Keberadaan kapur bebas bisa menjadi sumber kelemahan pada permukaan interface antara pasta semen dengan agregat, dan juga bisa menyebabkan ketidakstabilan pada proses pengerasan semen, kapur dan silica menjadi penyumbang kekuatan terbesar. Sedangkan alumina dan oksidasi besi akan lebih berfungsi untuk mengatur kecepatan proses hidrasi. Namun dalam proses

produksi semen, terutama dalam proses pembakarannya alumina dan oksida besi akan bertindak sebagai suatu media pembakaran yang berfungsi untuk mengurangi tingkat suhu pembakaran semen. Kandungan minimum dari alumina dan oksida besi seringkali lebih ditentukan oleh kebutuhan untuk menghindari kesulitan produksi klinker pada suhu tinggi, dan bukan oleh kebutuhan komposisi kimianya. Sementara itu kandungan maksimumnya pada umumnya dibatasi oleh kebutuhan untuk mengendalikan waktu pengikatan hidrasi semen. Dalam hal ini, semen dengan rasio SiO₂/(Al₂O₃ + Fe₂O₃) yang kurang dari 1,5 pada umumnya menunjukkan waktu pengikatan yang cepat, yang biasanya sukar dikontrol lagi oleh proporsi campuran gypsum yang ditambahkan.

Bottom ash.

Bottom ash adalah bahan buangan dari proses pembakaran batu bara pada pembangkit tenaga yang mempunyai ukuran partikel lebih besar dan lebih berat dari *fly ash*, sehingga *bottom ash* akan terjatuh pada dasar tungku pembakaran dan terkumpul pada penampung debu kemudian dikeluarkan dari tungku dengan cara disemprot dengan air untuk dibuang atau digunakan. *Bottom Ash* biasanya mempunyai warna yang gelap dan memiliki kandungan garam dan pH yang rendah, sehingga berpotensi menimbulkan sifat korosi pada struktur baja yang bersentuhan dengan campuran yang mengandung *bottom ash*. Selain itu, rendahnya nilai pH yang ditunjukkan oleh tingginya kandungan sulfat yang terlarut menunjukkan adanya kandungan *pyrite (iron sulfide)* yang besar. *Pyrite* merupakan partikel yang ekspansif dan apabila terkena air dalam waktu lama dapat mempercepat kerusakan jalan *Pyrite* ini ada di dalam kandungan *bottom ash*, sehingga harus dibuang dengan elektromagnet sebelum digunakan (Santoso, Roy et al. 2003). Satu contoh

karakteristik *bottom ash* dari dua tungku di Israel, memiliki dua sampel dimana tingkat kepadatannya sama, yaitu rata-rata 1.32 dan 1.31 g/cm³. *Spesific gravity* kedua sampel adalah 2.5 g/cm³. Penyerapan *bottom ash* berkisar 25.3 dan 26.0 persen. Ukuran *bottom ash* sebagai agregat kasar antara 4.75-9.5 mm dan sebagai agregat halus kurang dari 4.75 mm (Nisnevich, Schlesinger et al. 1999).

Bottom ash mempunyai beberapa unsur kimia antara lain Si, Al, Fe, Ca, Mg, S, Na dan beberapa unsur kimia yang lain. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, *bottom ash* dapat menimbulkan sifat korosi pada tulangan baja karena *bottom ash* memiliki nilai pH yang cukup rendah. Selain itu pada *bottom ash* terdapat kandungan *iron sulfide* yang besar dimana sebelum *bottom ash* digunakan, kandungan *iron sulfide* harus dihilangkan dengan menggunakan elektromagnet.

Tabel 1. Tabel hasil analisis kimia *bottom ash*

Hasil Analisis Kimia Unsur-Unsur Kelumit Abu Batubara PLTU

| No | Jenis Abu Batubara | Cu ppm | Pb | Zn | Cd | Cr | As | Hg |
|----|---------------------------|--------|----|-----|----|-----|-----|----|
| 1 | FlyAsh Asam-asam, FAA | 298 | 19 | 391 | 11 | 224 | 10 | tt |
| 2 | Bottom Ash Asam-asam, BAA | 62 | tt | 138 | tt | 288 | tt | tt |
| 3 | FlyAsh Ombilin, FAO | 87 | 15 | 153 | tt | 120 | 155 | tt |
| 4 | Bottom Ash Ombilin, BAO | 44 | tt | 37 | tt | 160 | tt | tt |

Hasil Analisis Kimia Unsur-Unsur Utama Abu Batubara PLTU

| Parameter (%) | Jenis Abu Batubara | | | |
|--------------------------------|--------------------|-------|-------|-------|
| | FAA | BAA | FAO | BAO |
| SiO ₂ | 59.8 | 77.5 | 55.3 | 19.81 |
| Al ₂ O ₃ | 19.4 | 8.04 | 30.9 | 12.64 |
| Fe ₂ O ₃ | 12.52 | 10.77 | 4.64 | 10.67 |
| TiO ₂ | 0.98 | 0.53 | 1.34 | 0.71 |
| CaO | 2.13 | 0.85 | 0.38 | 0.47 |
| MgO | 2.50 | 1.09 | 0.69 | 0.36 |
| K ₂ O | tt | 0.42 | 0.26 | 2.12 |
| Na ₂ O | 0.16 | tt | 0.37 | 0.50 |
| LOI | 1.30 | 0.04 | 5.05 | 51.4 |
| SO ₂ | 0.53 | 0.16 | 0.38 | 0.17 |
| P ₂ O ₅ | 0.104 | 0.15 | 0.34 | 0.91 |
| MnO | 0.19 | 0.13 | 0.023 | 0.035 |
| H ₂ O | 0.033 | 24.2 | 0.22 | 34.3 |

Ket : - contoh diperiksa dari bahan kering (105-110°C) kecuali H₂O dari bahan asal
-tt = tidak terdeteksi

Pasta semen.

Bila semen Portland dicampur dengan air, maka akan terjadi suatu pasta semen, dengan diamati perlahan-lahan pasta semen

tersebut akan menjadi kaku dan keras (Teknologi Beton, Indra Cahya). Senyawa C3S dan C2S bila bercampur dengan air akan membentuk agar-agar sebagai senyawa kalsium silikat hidrat dan membebaskan sebagian kapur. Senyawa C3A dan C4AF juga bersenyawa dengan air, membentuk senyawa *trikalsium aluminat hidrat*. Air yang ada di dalam agar-agar dapat melanjutkan hidrasi bagi butir semen yang belum bersenyawa bila jumlah air dari luar berkurang. Persenyawaan air dengan semen tidak terjadi dalam waktu yang singkat. Derajat pengerasan ini terutama dipengaruhi oleh susunan senyawa semen, kehalusan dan butiran semen, jumlah air yang dicampurkan, dan jumlah air yang ada desekitar butiran semen. (Teknologi Beton, Dr. Wuryati Samekto dan Candra Rahmadiyanto, ST., 2001). Semen jika terkena air akan bereaksi membentuk suatu bahan yang lengket seperti lem (bonding agent), akhirnya mengeras. Peristiwa ini disebut hidrasi. Sifat reaksi dari senyawa di atas adalah bersifat exotermis. Sifat ini menandakan panas dilepas ketika terjadi pengikatan dan pengerasan semen. Jumlah panas yang dilepas oleh semen adalah panas hidrasi. (Paulus Nugraha, 1989 : 22-23) Semen dan air dikombinasikan dalam proporsi yang tertentu. Untuk semen Portland I, bagian berat semen membutuhkan sekitar 0.25 bagian berat air untuk hidrasi. (Bahan dan Praktek Beton, L. J. Murdock dan K. M. Brook)

Panas hidrasi adalah jumlah panas (dalam joule) per gram semen yang belum terhidrasi yang dikeluarkan sampai terjadi hidrasi yang komplit pada temperatur tertentu. Hidrasi senyawa semen bersifat *ekshotermie*.kecepatan pertumbuhan panas hidrasi total. (Buku Diktat Teknologi Beton oleh Ari Wibowo, ST., MT dan Ir.Edhi Wahyuni, MT.)

Waktu ikat semen dan *bottom ash*.

Proses *setting time* adalah perubahan pasta semen dalam keadaan plastis menjadi solid, segera setelah *setting time* dari pasta semen tidak kuat dan kekuatan desaknya menjadi kecil. Dengan berlalunya waktu dan bersamaan dengan proses hidrasi, pasta semen tersebut menjadi keras dan dengan sendirinya kekuatan desaknya menjadi bertambah. (Teknologi Beton, Indra Cahya).

Selama proses pengerasan dari pasta ke massa yang keras seperti batu, semen mengalami dua tipe *setting time* (Teknologi Beton, Indra Cahya) :

a) *Initial Setting Time*

Berlangsung saat semen mulai menjadi kaku setelah semen dicampur dengan air. Dimana pasta semen kehilangan plastisitasnya dan menjadi cukup koheren untuk menahan tekanan. Saat ini ditentukan dalam jam dan menit, Standard initial *setting time* : 1-2 jam, bila initial *setting time* kurang dari 1 jam, berarti semen Portland tersebut kurang baik, karena cepat mengeras.

b) *Final Setting Time*

Setelah initial *setting Time*, pasta semen masih dalam keadaan keras dan makin menjadi kaku dan cukup kuat menahan tekanan yang besar.

Standard final *setting time* : 4-6 jam, bila final *setting time* kurang dari 4 jam, berarti semen Portland tersebut kurang baik, karena cepat mengeras.

Metode penelitian.

Benda uji berupa pasta semen yang dimasukkan dalam *conical ringmold* dengan ukuran diameter bagian bagian atas 60 ± 3 mm, diameter bagian bagian bawah 70 ± 3 mm dan tinggi 40 ± 1 mm. Benda uji terdiri dari delapan variasi prosentase kadar *bottom ash* (abu dasar) dan beberapa variasi waktu pengamatan. Variasi prosentase *bottom ash* yang ditambahkan dalam pasta semen yaitu sebesar 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, 40% dan 0% sebagai

kontrol. Sedangkan waktu pengamatan dilakukan setiap penambahan waktu 15 menit sampai waktu ikat akhir semen terjadi. Pengujian untuk mendapatkan waktu ikat awal dan akhir semen ini dilakukan dalam satu rangkaian pengujian. Pada pengujian ini, masing-masing benda uji akan diamati penurunannya setiap penambahan waktu 15 menit sampai waktu ikat awal dan akhir semen didapatkan. Kadar air yang digunakan untuk pasta menggunakan kadar air dari hasil pengujian konsistensi normal campuran. Jumlah benda uji tiap variasi % *bottom ash* pengganti semen sebanyak 3 buah. (SNI 15-2049-2004 halaman 88 dari 128).

Tabel 2. Tabel rancangan benda uji

| No | (%) <i>bottom ash</i> pengganti semen | Jumlah benda uji |
|--------|--|---------------------|
| 1 | 0 | 3 |
| 2 | 10 | 3 |
| 3 | 15 | 3 |
| 4 | 20 | 3 |
| 5 | 25 | 3 |
| 6 | 30 | 3 |
| 7 | 35 | 3 |
| 8 | 40 | 3 |
| Jumlah | | 24 |

Prosedur pengujian waktu ikat semen adalah sebagai berikut:

- Persiapan alat jarum vicat.
- Mencatat awal penunjukkan jarum.
- Mencatat penunjukkan jarum setelah 30 detik dikendorkan.
- Mengamati penunjukan jarum setiap 15 menit sampai didapat penetrasi yang lebih kecil dari 25 mm kemudian dicatat waktunya (waktu ikat awal). Jarak titik pengukuran satu sama lain tidak boleh besar dari 6 mm dan tidak boleh lebih kecil dari 9 mm diukur dari tepi mold.

- e) Mencatat waktu yang diperlukan pada saat jarum vicat tidak dapat menembus pasta semen.
- f) Menghitung waktu yang diperlukan untuk mencapai penetrasi 25 mm (waktu ikat awal) dengan melakukan interpolasi.

Selama pengujian penetrasi peralatan harus bebas getaran. Jaga agar jarum diameter 1 mm tetap lurus dan tetap bersih karena gumpalan-gumpalansemen yang menempel pada sisi jarum akan memperlambat penetrasi, bila semen menempel pada ujung jarum akan mempercepat penetrasi. Waktu pengikatan tidak hanya dipengaruhi oleh persentase suhu air yang dipakai, jumlah pasta yang diterima, tetapi juga disebabkan oleh suhu dan kelembaban udara. Penentuan waktu pengikatan semen portland mengacu pada ASTM C 191-01a, *Standard Test Method for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needles* dan ASTM C 266-99, *Standard Test Method for Time of Setting of Hydraulic Cement by Gillmore Needles*.

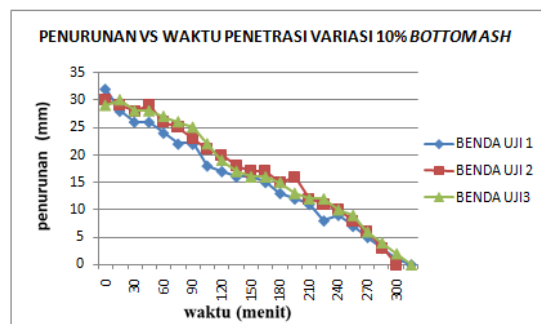
Hasil dan pembahasan.

Dari data yang diperoleh dari pengujian waktu ikat pasta semen dapat dibuat grafik hubungan penurunan dengan waktu ikat. Data tersebut dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Dari grafik hasil pengujian penetrasi campuran 0% *bottom ash* kemudian dilakukan interpolasi untuk mendapatkan nilai waktu ikat awal yang diperoleh saat penurunan jarum penetrasi sebesar 25 mm. dan waktu ikat akhir yang diperoleh saat penurunan jarum penetrasi sebesar 0 mm. Dari interpolasi tersebut menghasilkan 3 data waktu ikat awal yang dirata-rata sehingga didapatkan nilai waktu ikat awal 65,2 menit dan 3 data waktu ikat akhir yang telah dirata-rata sehingga didapatkan nilai waktu ikat akhir 305 menit.

Tabel 2. Tabel hasil pengujian konsistensi normal semen

| (%) <i>bottom ash</i> pengganti semen | benda uji | penurunan (mm) | Kadar Air (%) |
|---------------------------------------|-----------|----------------|---------------|
| 0% | 1 | 3 | 16 |
| | 2 | 8 | 18 |
| | 3 | 18 | 24 |
| 10% | 1 | 3 | 13 |
| | 2 | 5 | 16 |
| | 3 | 15 | 21 |
| 15% | 1 | 3 | 16 |
| | 2 | 8 | 17 |
| | 3 | 17 | 24 |
| 20% | 1 | 6 | 17 |
| | 2 | 14 | 20 |
| | 3 | 16 | 22 |
| 25% | 1 | 3 | 13 |
| | 2 | 6 | 16 |
| | 3 | 13 | 20 |
| 30% | 1 | 3 | 12 |
| | 2 | 7 | 14 |
| | 3 | 12 | 21 |
| 35% | 1 | 3 | 12 |
| | 2 | 6 | 15 |
| | 3 | 17 | 23 |
| 40% | 1 | 3 | 11 |
| | 2 | 6 | 14 |
| | 3 | 15 | 22 |



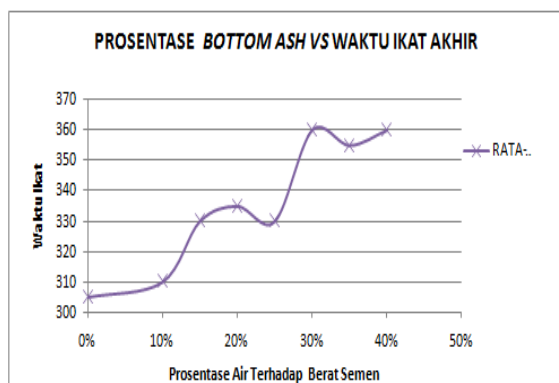
Gambar 2. Grafik hubungan antara waktu ikat awal, akhir dengan penurunan *bottom ash*

Tabel 3. Hasil pengujian waktu ikat awal

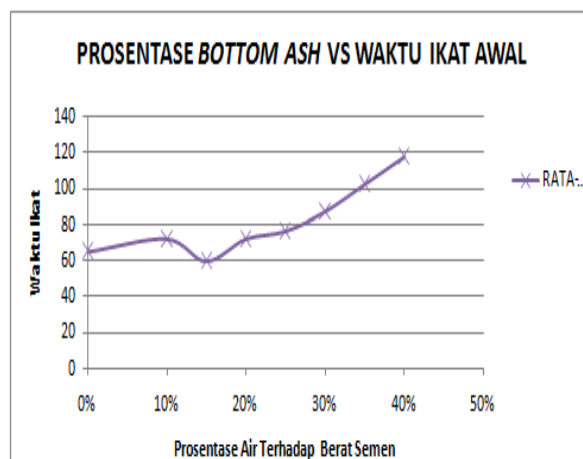
| Benda Uji | Waktu Ikat Awal (menit) | | | | | | | |
|------------------|-------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | Bottom Ash 0 % | Bottom Ash 10 % | Bottom Ash 15 % | Bottom Ash 20 % | Bottom Ash 25 % | Bottom Ash 30 % | Bottom Ash 35 % | Bottom Ash 40 % |
| 1 | 67,5 | 52,5 | 52,5 | 52,5 | 87,5 | 82,5 | 82,5 | 120,33 |
| 2 | 45,6 | 75 | 67,5 | 120 | 82,5 | 75 | 120 | 112,5 |
| 3 | 82,5 | 90 | 60 | 75 | 60,3 | 105 | 105 | 120 |
| jml (Yi) | 195,6 | 217,5 | 180 | 247,5 | 230,3 | 262,5 | 307,5 | 352,833 |
| rata-rata | 65,2 | 72,5 | 60 | 72,5 | 76,7 | 87,5 | 102,5 | 117,611 |

Tabel 4. Tabel hasil pengujian waktu akhir

| Benda Uji | Waktu Ikat Akhir (menit) | | | | | | | |
|------------------|--------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | Bottom Ash 0 % | Bottom Ash 10 % | Bottom Ash 15 % | Bottom Ash 20 % | Bottom Ash 25 % | Bottom Ash 30 % | Bottom Ash 35 % | Bottom Ash 40 % |
| 1 | 285 | 315 | 345 | 345 | 315 | 360 | 360 | 360 |
| 2 | 300 | 300 | 330 | 330 | 345 | 360 | 360 | 360 |
| 3 | 330 | 315 | 315 | 330 | 330 | 360 | 345 | 360 |
| jml (Yi) | 915 | 930 | 990 | 1005 | 990 | 1080 | 1065 | 1080 |
| rata-rata | 305 | 310 | 330 | 335 | 330 | 360 | 355 | 360 |



Gambar 3. Grafik hubungan antara waktu ikat awal dan prosentase *bottom ash*



Gambar 4. Grafik hubungan antara waktu ikat akhir dan prosentase *bottom ash*

Dari grafik hasil pengujian penetrasi campuran 10% *bottom ash* kemudian dilakukan interpolasi untuk mendapatkan nilai waktu ikat awal yang diperoleh saat penurunan jarum penetrasi sebesar 25 mm. dan waktu ikat akhir yang diperoleh saat penurunan jarum penetrasi sebesar 0 mm. Dari interpolasi tersebut menghasilkan 3 data waktu ikat awal yang dirata-rata sehingga didapatkan nilai waktu ikat awal 72,5 menit dan 3 data waktu ikat akhir yang telah dirata-rata sehingga didapatkan nilai waktu ikat akhir 310 menit.

Berdasarkan kaidah keputusan analisa data manual mengikuti Dr. Ir. Vincent Gaspers karena nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$, maka penambahan *bottom ash* berpengaruh terhadap waktu ikat awal pasta semen dan *bottom ash*. Jadi seluruh hasil penelitian cenderung menunjukkan adanya pengaruh penambahan *bottom ash* pada nilai waktu ikat awal. Hal ini telah sesuai dengan hipotesis awal yaitu bahwa penambahan *bottom ash* berpengaruh pada waktu ikat awalnya karena *bottom ash* mengandung alumina, silica dan calcium yang bersifat pozolan sehingga memperlambat waktu ikat awalnya.

Berdasarkan analisa data manual mengikuti Dr. Ir. Vincent Gaspers disimpulkan bahwa penambahan *bottom ash* berpengaruh terhadap waktu ikat akhir pasta semen dan *bottom ash*. Jadi seluruh hasil penelitian cenderung menunjukkan adanya pengaruh penambahan *bottom ash* pada nilai waktu ikat akhir. Hal ini telah sesuai dengan hipotesis awal yaitu bahwa penambahan *bottom ash* berpengaruh pada waktu ikat akhirnya karena *bottom ash* mengandung alumina, silica dan calcium yang bersifat pozolan sehingga memperlambat waktu ikat akhirnya.

Regresi dari hubungan prosentase *bottom ash* dan waktu ikat awal pasta semen dan *bottom ash* didapat persamaan sebagai berikut:

$$y = 533,81x^2 - 90,077x + 67,667$$

$$\frac{dy}{dx} = 1067,62x - 90,077$$

$$x = \frac{90,077}{1067,62} = 0,08437$$

dengan:

x = jumlah prosentase *bottom ash* (%)

y = waktu ikat akhir (menit)

Dari persamaan tersebut bisa ditentukan bahwa prosentase *bottom ash* sebesar 8,43 % dari berat semen dan menghasilkan waktu ikat akhir optimum sebesar 63.867 menit.

Regresi dari hubungan prosentase *bottom ash* dan waktu ikat awal pasta semen dan *bottom ash* didapat persamaan sebagai berikut:

$$y = 151,63x + 302,46$$

dengan:

x = jumlah prosentase *bottom ash* (%)

y = waktu ikat akhir (menit)

Hasil yang diperoleh selalu menunjukkan hasil naik yang signifikan.

Kesimpulan dan saran.

Dari semua uraian yang telah dijelaskan pada bab-bab sebelumnya, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Variasi penambahan kadar *bottom ash* berpengaruh terhadap waktu pengikatan awal sedangkan pada waktu pengikatan akhir pasta semen tidak berpengaruh (“ada pengaruh tetapi sangat kecil”).
2. Penambahan prosentase *bottom ash* selalu menunjukkan adanya penambahan terhadap waktu pengikatan awal maupun akhir pasta semen hal ini terlihat pada grafik hubungan waktu ikat dan prosentase *bottom ash*.

Setelah melakukan penelitian dan melihat hasil yang diperoleh, maka peneliti memberikan saran sebagai berikut :

1. Untuk penelitian selanjutnya agar lebih memperhatikan kondisi bahan semen yang digunakan, karena semen yang produksinya sudah lama atau penyimpanannya kurang tepat mengakibatkan hasil waktu ikat yang kurang akurat,
2. Untuk memperoleh data yang akurat diperlukan lebih baik lagi persiapan bahan, metode pelaksanaan dan pengujian serta pemahaman pelaksana terhadap sifat-sifat bahan yang digunakan,
3. Diperlukan persiapan alat, bahan serta metode pelaksanaan yang lebih matang sebelum penelitian dilakukan agar dapat lebih memperlancar jalannya penelitian

dan mendapatkan hasil sesuai yang diharapkan.

Daftar pustaka.

- DPU. 1982. Persyaratan Umum Bahan Bangunan (PUBI – 1982). Pusat Penelitian dan Pengembangan Pemukiman. Badan Penelitian dan Pengembangan PU Bandung.
- McCaffrey, R. 2002. Climate Change and The Cement Industry. Global Cement Lime Magazine (Environmental Special Issue) 15 – 19
- . 2000. Coal Bottom Ash / Boiler Slag – Material Description. www.google.com
- Samekto, W dan Rahmadiyanto, C. Teknologi Beton. 2001
- Cahya, Indra. Teknologi Beton.
- Wibowo, Ari dan Edhi Wahyuni, 2003, *Diktat Teknologi Beton*, Penerbit Laboratorium Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang.