

## **PENGARUH SUBSTITUSI KACA TERHADAP KUAT TEKAN DAN SUHU REAKSI SEMEN *PORTLAND***

**Adi Darmawan, Doddy Bestyan, Gunawan**

Jurusan Kimia Universitas Diponegoro

### **ABSTRAK**

*Telah dilakukan penelitian pengaruh substitusi kaca botol Coca Cola dan Pyrex terhadap kuat tekan dan suhu reaksi semen Portland. Penelitian dilakukan dengan mensubstitusi kaca pada semen portland Tiga Roda Indocement dengan variasi komposisi terhadap berat semen (5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%). Pengaruh substitusi dianalisis terhadap kuat tekan dan suhu reaksi. Analisis kuat tekan dilakukan dengan menggunakan compression test dan suhu reaksi dengan termometer.*

*Hasil analisis menunjukkan bahwa kuat tekan semen meningkat dengan substitusi kaca. Substitusi kaca Pyrex menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi daripada substitusi kaca botol Coca Cola. Kuat tekan optimal yang didapat pada substitusi 10% kaca dan pada umur 28 hari. Dengan meningkatnya substitusi kaca maka suhu reaksi menurun.*

***Kata Kunci: semen, substitusi kaca, kuat tekan dan suhu reaksi***

### **THE EFFECT OF GLASS SUBSTITUTION ON THE COMPRESSING POWER AND THE REACTION TEMPERATURE OF *PORTLAND* CEMENT**

#### **ABSTRACT**

*A research on the effect of substitution of pyrex glass and coca cola bottle glass on the compressing strength and reaction temperature of portland cement had been done. The research was carried out by substituting pyrex and coca cola bottle glass to portland cement "Tiga Roda Indocement". The glass composition was varied to 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30% against the cement mass. The effect of substitution on the compressing strength was analyzed by performing a compression test while the reaction temperature was analyzed by thermometer.*

*The research data showed that the compressing strength of the cement increased with the glass substitution. The substitution of Pyrex glass resulted in higher compressing strength the substitution of Coca Cola bottle glass. The optimum compressing strength was found on the substitution of 10 % glass and at the age of 28 days. On the other hand, the reaction temperature decreased with the increase of glass substitution.*

***Keywords: cement, glass substitution, compressing strength and reaction temperature***

#### **PENDAHULUAN**

Semen merupakan salah satu material anorganik yang banyak dimanfaatkan karena sifat-sifatnya yaitu memiliki kestabilan yang tinggi terhadap pengaruh fisis. Semen biasa digunakan sebagai bahan bangunan, selain itu semen juga digunakan sebagai bahan campuran pembuatan beton. Semen diproduksi dari bahan yang banyak mengandung kalsium seperti batu

gamping atau kapur, dan kemudian bahan yang banyak mengandung silika seperti lempung atau tanah liat. Jenis dari semen meliputi semen *Portland* dan semen *Pozzolan*, dimana kekuatan yang tinggi dimiliki oleh semen *Portland* (Austin, 1996). Semen *Portland* terkadang memiliki sifat fisis yang lemah dan mudah mengeras. Untuk mengantisipasi kelemahan ini maka perlu dilakukan substitusi campuran

dengan maksud agar dapat memperbaiki sifat fisis dari semen.

Sementara itu, sekam padi adalah suatu bahan yang mempunyai kandungan silika cukup besar dan mulai dikembangkan. Dari penelitian Kalapathy dan Shultz (2000) dilaporkan bahwa abu sekam padi secara umum mengandung silika antara 87-97%. Jamarun, dkk (2000) melakukan penambahan silika yang berasal dari abu sekam terhadap semen pozzolan, hasilnya abu sekam dari padi memberikan pengaruh pada kuat tekan, selain itu kandungan kimia bahan sangat berpengaruh terhadap kuat tekan yaitu silika reaktif yang terdapat pada semen pozzolan, dimana semakin banyak silika reaktif yang bereaksi dengan kalsium hidroksida maka kuat tekan semakin tinggi.

Sedangkan tinggi rendahnya suhu reaksi dipengaruhi oleh kandungan trikalsium silikat dan dikalsium silikat, semakin tinggi kandungan trikalsium silikat proses hidrasi yang terjadi lebih besar sehingga kalor yang dilepas juga besar dan pada suhu reaksi yang rendah dipengaruhi oleh kandungan Dikalsium Silikat yang tinggi menyebabkan pengerasan semen lambat sehingga panas/kalor yang dilepas rendah. Selain dipengaruhi oleh komposisi, suhu reaksi juga dipengaruhi oleh proses pertukaran energi yang terjadi pada saat pengukuran panas pelarutan yang dipengaruhi juga oleh luas permukaan sampel (Jamarun, dkk, 2000).

Di sisi lain, kaca biasa kita gunakan dalam peralatan makan, botol, jendela, alat laboratorium, alat optik, bola lampu dan lain-lain. Kaca sebagai bahan pembuatan alat laboratorium pyrex (kaca borosilikat) memiliki kandungan silika 81%, dan sebagai bahan

pembuatan Botol (kaca soda gamping) 72,4% (Scholes dan Greene, 1975), sehingga kemungkinan kaca dapat digunakan sebagai bahan tambahan semen dan diharapkan akan mempengaruhi kuat tekan dari semen tersebut. Archibald, dkk (1997) melakukan penambahan kaca bekas terhadap semen portland normal dengan memvariasi banyaknya komposisi kaca yang ditambahkan, hasilnya kaca dapat memberikan pengaruh pada kuat tekan semen portland normal sampai 333 % dari kuat tekan awal, dengan komposisi kaca yang ditambahkan 15%, 25%, 35%. dan komposisi kaca yang terbaik yaitu 15%.

Pada penelitian ini akan dikaji pengaruh penambahan kaca yang berasal dari alat laboratorium pyrex dan botol serta perbedaannya terhadap semen *Portland* merk Tiga Roda Indocement. Variabel yang dikaji adalah membandingkan kaca yang ditambahkan serta pengaruhnya terhadap kuat tekan dan suhu reaksi semen. Karena kaca mengandung silika yang cukup tinggi sehingga diharapkan dapat memberikan pengaruh pada semen. Semakin banyak silika yang terdapat dalam semen maka kuat tekan akan semakin tinggi dan suhu reaksi yang dihasilkan akan rendah.

## **METODE PENELITIAN**

**Peralatan:** Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain pengayakan 10 mesh, pengayakan 200 mesh, timbangan analisis, *stop watch*, termometer, cetakan mortar ukuran (5x5x5) cm<sup>3</sup> baja 55 HRB kedap air, oven, spatula, mangkok pengaduk, mesin pengaduk standar ASTM C 305, dan peralatan gelas yang lazim digunakan di laboratorium. Untuk keperluan analisis kuat tekan digunakan alat

*compression test*, dan untuk analisis suhu reaksi semen digunakan termometer.

**Bahan:** Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen Tiga Roda Indocement, pasir muntilan, akuades, kaca botol Coca Cola, dan kaca Pyrex.

### **Prosedur Kerja**

**Persiapan Sampel Kaca.** Masing-masing jenis kaca (kaca Pyrex, kaca botol Coca Cola) dibersihkan. Kaca lalu dihaluskan sampai berbentuk serbuk kaca halus kemudian dilakukan pengayakan.

**Pembuatan Komposisi Sampel.** Pada proses pembuatan komposisi sampel dilakukan penimbangan pada tiap jenis sampel kaca yaitu kaca Pyrex dan kaca botol Coca Cola. Selain itu dilakukan juga penimbangan pada semen dan pasir, serta pengukuran volume air yang digunakan. Berikut ini tabel komposisi masing-masing sampel:

**Tabel 1.** Komposisi Kaca Botol Coca Cola dan Kaca Pyrex untuk 6 benda uji

No	Berat semen (g)	Berat Kaca (g)	Berat pasir (g)	Volume Air (mL)
1	500	0	1375	242
2	475	25	1375	242
3	450	50	1375	242
4	425	75	1375	242
5	400	100	1375	242
6	375	125	1375	242

### **Pengukuran Suhu Reaksi Semen**

Secara terpisah komposisi masing-masing dari jenis kaca ditambahkan ke dalam komposisi semen, selanjutnya diaduk hingga merata. Campuran kaca dan semen yang telah dipisahkan kemudian masing-masing ditambahkan akuades dengan volume yang sama (40,33 mL untuk 1 x benda uji). Setelah

campuran direaksikan dengan akuades maka akan timbul panas pada campuran, yang kemudian diukur dengan menggunakan termometer.

### **Pengukuran Kuat Tekan Semen**

Secara terpisah komposisi bahan disiapkan untuk 6 benda uji, Sebanyak 242 mL akuades dimasukkan ke dalam mangkok pengaduk kemudian ditambahkan semen dan kaca sesuai dengan komposisi. Selanjutnya dilakukan pengocokan dengan kecepatan 140 rpm selama 30 detik, kemudian ditambahkan pasir dilakukan pengocokan dengan kecepatan 140 rpm selama 30 detik, dilanjutkan pengocokan dengan kecepatan 285 rpm selama 30 detik, dan dilakukan pembersihan mortar yang menempel di pinggir mangkok selama 75 detik. Selanjutnya dilakukan pengocokan kembali dengan kecepatan 285 rpm selama 1 menit, dan didiamkan selama 30 detik. kemudian mortar dicetak pada cetakan mortar dengan menumbuk 32 x selama 10 detik menggunakan spatula sebanyak 2 lapis, dan selanjutnya Cetakan didiamkan atau direndam dalam air selama 7 hari dan 28 hari dan dilakukan pengukuran kuat tekan dengan menggunakan *compression test*.

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pada bagian ini akan dibahas tentang pengaruh substitusi kaca terhadap kuat tekan dan suhu reaksi semen *Portland*. Adapun langkah-langkah dalam pengukuran kuat tekan meliputi pembuatan komposisi sampel, pembuatan mortar atau pencetakan mortar, dan pengukuran kuat tekan mortar. Sedangkan untuk pengukuran suhu reaksi langkah-langkahnya meliputi

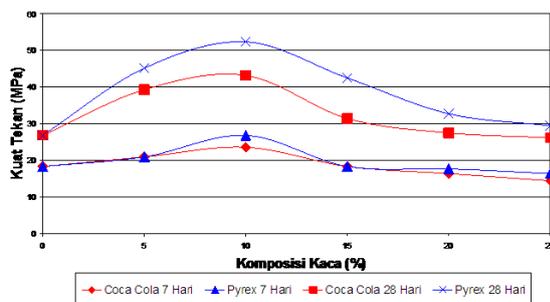
pengukuran suhu awal reaksi dan suhu akhir reaksi.

**Pengukuran Kuat Tekan**

Dalam penelitian ini pengukuran kuat tekan dilakukan setelah pencetakan mortar dan perendaman selama 7 hari dan 28 hari. Kekuatan tekan merupakan sifat kemampuan semen untuk menahan suatu beban tekan. Hasil kuat tekan yang diperoleh dapat dilihat pada tabel 2 dan gambar 1 di bawah ini:

**Tabel 2.** Hasil Kuat Tekan Semen Portland pada Umur 7 Hari dan 28 Hari dengan Substitusi Kaca Botol Coca Cola dan Kaca Pyrex

% Kaca	Kuat Tekan Rata-rata (MPa) Penambahan Kaca botol Coca cola		Kuat Tekan Rata-rata (MPa) Penambahan Kaca Pyrex	
	7 hari	28 hari	7 hari	28 hari
0	18.30	26.80	18.30	26.80
5	20.92	39.22	20.92	45.11
10	23.53	43.14	26.80	52.30
15	18.30	31.38	18.30	42.47
20	16.34	27.45	17.65	32.69
25	14.38	26.14	16.34	29.41



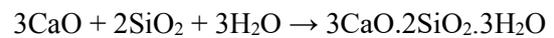
**Gambar 1.** Grafik Hubungan Kuat Tekan terhadap Komposisi Kaca pada umur 7 dan 28 hari

Dari tabel 2 dan gambar 1 dapat dilihat hubungan kuat tekan dengan komposisi sampel (kaca), bahwa pada substitusi kaca 10% kuat tekan meningkat dan setelah itu kuat tekan menurun sampai substitusi kaca 25%. Pada substitusi dengan menggunakan kaca botol Coca Cola kuat tekan rata-rata pada umur 7 dan 28 hari yaitu

sebesar 23,53 MPa dan 43,14 MPa. Sedangkan kuat tekan pada substitusi kaca Pyrex yaitu sebesar 26,80 MPa dan 52,30 MPa. Kuat tekan mortar menjadi lebih besar setelah substitusi kaca dan meningkat optimal pada substitusi 10% Setelah itu pada 15% sampai 25% kuat tekan menurun. Pada substitusi kaca Coca Cola menurun hingga 14,38 MPa dan 26,14 MPa. Sedangkan pada substitusi kaca pyrex menurun hingga 16,34 MPa dan 29,41 MPa.

Dalam penelitian ini substitusi kaca Pyrex lebih baik dari kaca botol Coca Cola sedangkan kuat tekan maksimum diperoleh pada umur 28 hari. Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi sebagai berikut:

*Pertama: Umur Mortar.* Hasil yang diperoleh dalam penelitian ini bahwa mortar dengan umur 28 hari memiliki kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan mortar dengan umur 7 hari (semakin lama waktu atau umur mortar maka kuat tekan semakin besar), hal ini dipengaruhi oleh adanya pertumbuhan gel tobermorit. Gel tobermorit terbentuk ketika semen bereaksi dengan air. Reaksi:



Gel tobermorit

Dalam penelitian ini waktu berpengaruh terhadap pertumbuhan gel tobermorit, di mana dengan semakin lama maka yang terjadi pertumbuhan gel tobermorit akan semakin banyak yang akibatnya proses pengerasan akan semakin lama dan berpengaruh pada kekuatan.

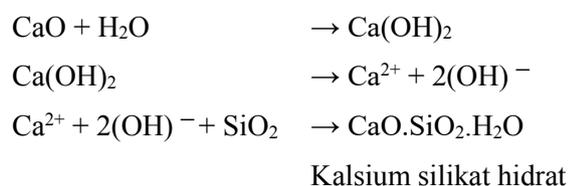
Pertumbuhan gel tobermorit juga berpengaruh pada proses pengikatan dan pengerasan akhir semen. Pengikatan adalah timbulnya gejala kekakuan pada semen. Proses ini berlangsung

hingga semua rongga di dalam semen terisi, kristal akan semakin kaku akhirnya tercapai pengerasan akhir. Selanjutnya proses pengerasan secara tetap (*hardening*) mulai terjadi.

*Kedua: Komposisi dan Struktur Kaca.* Hasil yang diperoleh dalam penelitian ini bahwa pada substitusi kaca Pyrex lebih baik dari kaca botol Coca Cola, hal ini berarti komposisi dan struktur kristal di dalam kaca berpengaruh terhadap kuat tekan. Ada beberapa kemungkinan komposisi penyusun kaca yang berperan:

### 1. Komposisi silika

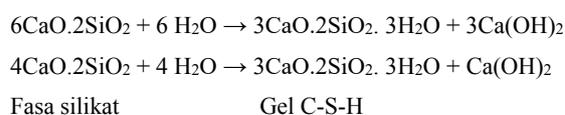
Komposisi silika dari kedua jenis kaca yang berbeda di mana kaca Pyrex memiliki komposisi silika lebih tinggi (80% sampai 87%) sedangkan kaca botol Coca Cola 72,4%. Dengan kandungan silika dalam kaca yang lebih tinggi maka komposisi silika di dalam semen juga akan meningkat. Silika dari kaca akan berikatan dengan kalsium hidroksida yang dilepaskan oleh semen ketika semen bereaksi dengan air, dengan semakin banyak kandungan silika di dalam kaca maka semakin banyak silika yang berikatan dengan kalsium hidroksida sehingga menyebabkan kuat tekan meningkat. Adapun reaksi yang dihasilkan ketika semen bereaksi dengan air adalah sebagai berikut:



Konsentrasi substitusi kaca juga dapat mempengaruhi kuat tekan, di mana dalam penelitian ini diperoleh konsentrasi optimal pada substitusi 10% akan memiliki kuat tekan yang

tinggi, dan pada konsentrasi 15 sampai 25% kuat tekan akan menurun.

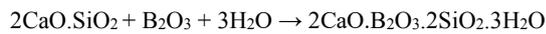
Hal ini disebabkan jumlah silika yang berinteraksi dengan semen. Semakin banyak silika yang bereaksi atau berinteraksi dengan semen maka *daya perekat semen akan berkurang* sehingga struktur di dalamnya akan lemah sehingga kuat tekannya rendah. Selain itu kalsium hidroksida yang dihasilkan pada saat reaksi hidrasi pada semen lebih sedikit sehingga banyak silika yang tidak bereaksi dengan kalsium hidroksida. Kandungan trikalsium silikat sangat berpengaruh pada saat proses pengerasan dan pengembangan awal kekuatan semen sedangkan dikalsium silikat berpengaruh pada akhir kekuatan semen. Jika kandungan trikalsium silikat tinggi atau lebih banyak maka akan membentuk semen dengan kekuatan awal tinggi sehingga semen ini berkualitas rendah sedangkan jika kandungan dikalsium silikat yang tinggi maka akan memiliki kuat tekan yang tinggi dalam jangka waktu yang lama. Di bawah ini reaksi terbentuknya gel kalsium-silikat-hidrat (C-S-H) dan kalsium hidroksida (portlandit).



### 2. Pengaruh komposisi lain yang ada dalam struktur kaca.

Ada beberapa penyusun kaca selain silika yang mungkin menyebabkan hasil kuat tekan pada substitusi kaca Pyrex lebih baik dari kaca botol Coca Cola. Kaca Pyrex termasuk kaca jenis borosilikat yang memiliki komposisi 10 sampai 20% B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 80% sampai 87% SiO<sub>2</sub>, dan kurang dari 1% Na<sub>2</sub>O. Sedangkan kaca botol Coca Cola kaca ini termasuk jenis kaca soda gamping

memiliki komposisi 72,4% SiO<sub>2</sub>, 1,0% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 0,1% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 8,1% CaO, 0,2% MgO, 8,1% Na<sub>2</sub>O, dan 0,2% BaO. Dari masing masing komposisi kaca (Pyrex dan botol Coca Cola) dapat dilihat bahwa prosentase kandungan kaca yang tinggi selain SiO<sub>2</sub> yang dimiliki kaca Pyrex adalah boron B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, kandungan B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dari kaca pyrex dimungkinkan berpengaruh pada hasil kuat tekan (Elbeyli, 2004).



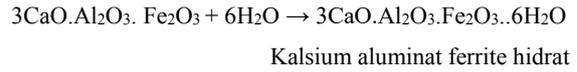
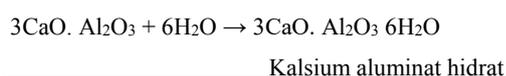
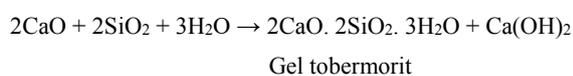
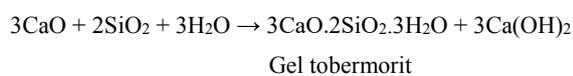
Pada penelitian ini boron berpengaruh pada kuat tekan semen, hasil ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan (Elbeyli, 2004) bahwa boron dapat mempengaruhi sifat fisis semen di antaranya, *kuat tekan* dan *pengerasan pengikatan* semen. Kuat tekan meningkat pada umur 28 hari pada penambahan 5 % boron.

**Pengukuran Suhu Reaksi**

Pengukuran suhu reaksi dilakukan dengan mereaksikan semen dan air. Dalam penelitian ini digunakan suatu bahan substitusi berupa kaca. Suhu reaksi adalah suhu yang dihasilkan karena reaksi antara komponen-komponen yang ada dalam semen jika dicampur dengan air.

Hasilnya adalah senyawa hidrat. Sebagian besar terdiri dari kalsium silikat hidrat (CSH/2CaO.SiO<sub>2</sub>.3H<sub>2</sub>O), kalsium hidrat (Ca(OH)<sub>2</sub>), kalsium aluminat hidrat (3CaO.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.3H<sub>2</sub>O) dan kalsium aluminat ferit hidrat (3CaO.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.3H<sub>2</sub>O).

Reaksi yang terjadi adalah:



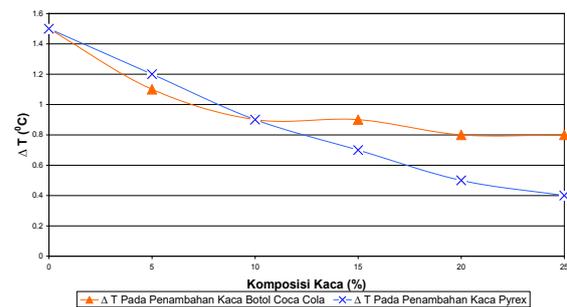
Dalam penelitian ini hasil suhu reaksi yang diperoleh dapat dilihat pada tabel 3 dan 4 serta gambar 2 di bawah ini:

**Tabel 3.** Hasil Suhu Reaksi Awal dan Akhir Semen Portland dengan Substitusi Kaca Botol Coca Cola

% Kaca	Suhu Reaksi (°C) Penambahan Kaca botol Coca Cola		
	T Awal	T Akhir	Δ T
0	28,8	30,3	1,5
5	28,8	30,0	1,1
10	28,8	29,7	0,9
15	28,8	29,7	0,9
20	28,8	29,6	0,8
25	28,8	29,6	0,8

**Tabel 4.** Hasil Suhu Reaksi Awal dan Akhir Semen Portland dengan Substitusi Kaca Pyrex

% Kaca	Suhu Reaksi (°C) Penambahan Kaca Pyrex		
	T Awal	T Akhir	Δ T
0	28,8	30,3	1,5
5	28,8	30,0	1,2
10	28,8	29,7	0,9
15	28,8	29,5	0,7
20	28,8	29,3	0,5
25	28,8	29,2	0,4



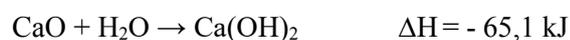
**Gambar 1.** Grafik Hubungan Perubahan Suhu Reaksi terhadap Komposisi Kaca

Dari tabel 3 dan 4 serta gambar 2 dapat dilihat hubungan suhu reaksi dengan komposisi kaca, bahwa semakin banyak komposisi kaca yang disubstitusi maka suhu reaksi menurun.

Dalam penelitian ini suhu reaksi menurun sampai komposisi 25% kaca. Substitusi dengan menggunakan kaca pyrex memberikan hasil yang lebih baik dibanding menggunakan kaca botol Coca Cola.

Tinggi rendahnya suhu reaksi dipengaruhi oleh kandungan trikalsium silikat dan dikalsium silikat. Suhu yang dihasilkan pada saat reaksi berkaitan erat dengan perubahan entalpi standar  $\Delta H$  dan nilai  $\Delta H_f$  keadaan standar (pada suhu 25 °C dan tekanan 1 atm). Jika nilai  $\Delta H_f$  hasil reaksi lebih kecil dari  $\Delta H_f$  pereaksi maka nilai  $\Delta H$  reaksi negatif yang berarti reaksi bersifat eksotermis (mengeluarkan panas). Sedangkan jika nilai  $\Delta H_f$  hasil reaksi lebih besar dari  $\Delta H_f$  pereaksi maka nilai  $\Delta H$  positif yang berarti reaksi bersifat endotermis atau menyerap panas (Brady, 1999).

Dalam penelitian ini suhu reaksi yang dihasilkan pada saat CaO bereaksi dengan H<sub>2</sub>O menghasilkan Ca(OH)<sub>2</sub> yang bersifat eksotermis hal ini dapat dibuktikan dengan nilai  $\Delta H$  negatif.



Reaksi selanjutnya yaitu pembentukan C-S-H kalsium silikat hidrat, dengan adanya penambahan SiO<sub>2</sub> maka reaksi pembentukan C-S-H bersifat endotermis (menyerap panas), Dalam penelitian ini suhu yang dihasilkan pada saat penambahan SiO<sub>2</sub> menurun hal ini dapat dibuktikan dengan nilai  $\Delta H$  positif.



Semakin banyak silika yang bereaksi dengan Ca(OH)<sub>2</sub> maka kalsium silikat hidrat yang terbentuk semakin banyak sehingga suhu reaksi yang dihasilkan menurun (Jamarun, dkk, 2000). Dengan suhu reaksi menurun maka dapat diasumsikan bahwa panas hidrasi yang dihasilkan pada saat reaksi juga menurun.

## KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan dapat diambil kesimpulan: (1) Kaca pyrex dan kaca botol coca cola dapat dijadikan bahan tambahan atau agregat pada semen dengan komposisi optimal 10 % dari berat semen. (2) Penambahan kaca pyrex menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi dari kaca botol coca cola dan optimal pada komposisi 10%. (3). Kuat tekan semen lebih baik pada umur semen yang lebih lama. (4). Dengan meningkatnya jumlah silika suhu reaksi menurun.

## DAFTAR PUSTAKA

- Archibald, J. F., Chew, J. L. and Lausch, P., 1997. *Use of Ground Waste Glass and Normal Portland Cement Mixtures for Improving Slurry and Paste Backfill Support Performance*. Journal of Annual General meeting Technical Presentation, Vancouver, British Columbia, April, 1997.
- Austin, G. T., 1996, *Industri Proses Kimia*, a.b: E. Jasjfi, Erlangga, Jakarta.
- Brady, E. J., 1999, *Kimia Universitas Asas dan Struktur*, Binarupa Aksara, Jakarta.
- Elbeyli, I.Y., 2004, *Utilization of Industrial Borax Waste (BW) for Portland Cement Production*, Technical University, Department of Chemical Engineering, Istanbul Turkey
- Jamarun. N, dkk, 2000, *Pembuatan Silika dari Sekam Padi*, Laporan Penelitian Universitas Andalas, 2000.
- Kalopathy, U., Proctor, A., and Shultz, J., 2000, *A Simple Method for Production of Silika from Rice Hull Ash*, Bioresource Technology, 73, 257-262.
- Scholes, S. R., and Greene, C. H., 1975, *Modern Glass Practice*, Cahners, Boston