

**PENGARUH PENAMBAHAN ACCELERATOR “CaCl<sub>2</sub>”, “NaCl”, DAN “NaNO<sub>3</sub>”  
SEBAGAI ADDITIVE SEMEN KELAS B TERHADAP THICKENING TIME,  
COMPRESSIVE STRENGTH, DAN RHEOLOGY BUBUR SEMEN DENGAN VARIASI  
TEMPERATUR (BHCT) DI LABORATORIUM PEMBORAN DAN PRODUKSI  
UNIVERSITAS TRISAKTI**

Muhammad Rheza M.Y. Agam, Bayu Satyawira, Listiana  
Jurusan Teknik Perminyakan Fakultas Kebumihan Dan Energi Universitas Trisakti  
E-mail: rheza20agam@gmail.com

### Abstrak

Hal terpenting pada perencanaan kegiatan penyemenan adalah penentuan formulasi bubuk semen yang diharapkan sesuai dengan kondisi sumur yang menjadi target penyemenan. Bubur semen terlebih dahulu harus dirancang sedemikian rupa dan diuji kelayakannya sebelum digunakan untuk penyemenan, sehingga sesuai dengan karakteristik sumur target penyemenan. Berbagai *additive* digunakan untuk memaksimalkan formulasi bubuk semen yang disesuaikan dengan karakteristik sumur yang akan disemen, baik menggunakan *additif accelerator* untuk mempercepat pengeringan semen atau dengan *retarder* untuk memperlambat pengeringan. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan konsentrasi *additive accelerator* “CaCl<sub>2</sub>”, “NaCl”, dan “NaNO<sub>3</sub>” Sebagai *Additive* Semen Kelas B Terhadap *Thickening Time*, *Compressive Strength*, dan *Rheologi* Bubur Semen Dengan Variasi Temperatur (BHCT). Temperatur yang digunakan adalah 60°C, 70°C, dan 80°C, dengan variasi konsentrasi *accelerator* 0,5 %, 1,0 %, 1,5 % dan 2,0 %. Penelitian ini dilakukan sesuai standar kelayakan API 10A (*specification for cement and materials for well cementing*). Sehingga dapat diperoleh gambaran konsentrasi *additive accelerator* yang tepat dan sesuai karakteristik sumur tersebut.

### Pendahuluan

Kegiatan *cementing* atau penyemenan adalah proses pendesakan (*displacement*) bubuk semen (*cement slurry*) ke dalam lubang sumur melalui *casing* dan didiamkan sampai bubuk semen tersebut mengeras, kemudian bubuk semen didorong terus naik ke annulus antara *casing* dengan dinding lubang ataupun ke annulus antara *casing* dengan *casing*, dan selanjutnya bubuk semen didiamkan sampai semen tersebut mengeras hingga mempunyai sifat melekat baik terhadap *casing* maupun formasi. Kegagalan dalam operasi penyemenan akan menimbulkan banyak permasalahan, antara lain; menyebabkan kerusakan pada formasi produktif, kehilangan sirkulasi lumpur, kecilnya laju produksi, ketidaksempurnaan dalam melakukan stimulasi dan banyak lagi.

### Studi Pustaka

Fungsi utama penyemenan adalah untuk menyekatkan lubang *annulus* antara dinding formasi dengan *casing*. Dilakukannya operasi penyemenan pada *casing* sumur-sumur minyak, gas bumi dan panas bumi, bertujuan untuk:

1. Menyekat *casing* dengan formasi batuan, agar *casing* kokoh dan kuat sehingga dapat berfungsi dengan baik.
2. Melindungi *casing* atau *liner* terhadap tekanan dan temperatur formasi pada pengeboran sumur.
3. Memisahkan zona-zona antar lapisan yang berbeda sehingga dapat mencegah migrasi fluida antar formasi (*zonal isolation*).
4. Mencegah korosi pada *casing* akibat kontak dengan fluida formasi.
5. Mengurangi beban yang berlebihan pada *casing*.
6. Memperbaiki *casing* yang pecah atau bocor (*casing leaks*) akibat korosi.

7. Mengurangi perbandingan antara air dan minyak (WOR) dengan menutup formasi yang memproduksi air (mengisolasi zona minyak dan air).
8. Mengisolasi formasi yang tidak produktif dengan lubang sumur.
9. Menutup zona *lost circulation* atau zona dengan tekanan tinggi.

Untuk memenuhi berbagai tujuan di atas, semen pemboran yang baik harus memiliki sifat-sifat berikut ini:

1. Mudah dipompakan (mempunyai *rheology* yang baik)
2. Nilai *thickening time* yang sesuai dengan target penyemenan sumur.
3. Mempunyai kekuatan (*strength*) yang cukup besar dalam waktu tertentu, serta mempunyai daya rekat yang baik dengan formasi batuan.
4. Kekuatan semen tersebut hendaknya stabil dan tidak mudah berubah.
5. Semen bersifat *impermeable*, yaitu tidak dapat mengalirkan dan dialiri fluida formasi.
6. Semen tidak mudah terkorosi akibat kontaminasi fluida formasi.

### Komposisi Bubur Semen

Bubur semen terbuat dari pencampuran antara fasa cair, bubuk semen dan *additive* yang disesuaikan dengan program kegiatan penyemenan yang akan dilaksanakan. Bubur semen yang dibuat harus disesuaikan sifat-sifatnya dengan kondisi formasi yang akan disemen.

#### Fasa Cair

Fasa cair yang dipergunakan pada umumnya adalah air, namun dalam beberapa kasus dan semen khusus digunakan minyak sebagai fasa cairnya. Tujuan penggunaan zat cair adalah sebagai media agar bubuk semen dapat saling berkaitan (*bonding*).

#### Bubuk Semen

Bubuk semen merupakan material padatan yang mempunyai sifat mengikat. Bubuk semen dikemas dalam karung atau *sack*, dimana berat tiap *sack* umumnya sekitar 94 lbs.

*American Petroleum Institute* (API) telah melakukan pengklasifikasian semen ke dalam beberapa kelas guna mempermudah pemilihan dan penggolongan semen yang akan digunakan. Pengklasifikasian ini didasarkan atas kondisi sumur dan sifat-sifat semen yang disesuaikan dengan kondisi sumur tersebut. Kondisi sumur tersebut meliputi kedalaman sumur, temperatur, dan tekanan operasi. Selain itu, klasifikasi tersebut juga menggolongkan semen berdasarkan ketahanannya terhadap sulfat seperti tipe *ordinary* (O), *moderate sulfate resistance* (MSR), dan *high sulfate resistance* (HSR)<sup>1</sup>. Klasifikasi tersebut dimuat dalam API *standards 10A "Specification for Oil-Well Cements and Cements Additives"*. Spesifikasi 10A tersebut secara berkala terus diperbarui dan direvisi sesuai kebutuhan dan perkembangan industri perminyakan.

Standardisasi oleh API tersebut adalah sebagai berikut:

##### a. Kelas A

Merupakan semen yang digunakan untuk penyemenan dari permukaan hingga kedalaman 6000 ft (1830 meter) dengan temperatur hingga 800C dan tidak tahan terhadap *sulfate*. Tersedia hanya dalam tipe *Ordinary* (O), pada umumnya digunakan untuk sumur dangkal saat sifat khusus semen tidak dibutuhkan (kondisi normal).

##### b. Kelas B

Merupakan semen yang digunakan untuk penyemenan dari permukaan hingga kedalaman 6000 ft (1830 meter) dan temperatur hingga 800C, dalam formasi yang

banyak mengandung sulfat sehingga diperlukan ketahanan terhadap sulfat. Tersedia dalam tipe *Ordinary (O)* dan *Moderate Sulfate Resistent (MSR)*.

c. Kelas C

Merupakan semen yang digunakan untuk penyemenan dari permukaan hingga kedalaman 6000 ft (1830 meter) dan temperatur hingga 800°C, mempunyai sifat *high-early strength* (proses pengerasan cepat). Tersedia dalam tipe *Ordinary (O)*, *Moderate Sulfate Resistent (MSR)* dan *High Sulfate Resistent (HSR)*.

d. Kelas D

Merupakan semen yang digunakan untuk penyemenan dari kedalaman 6000 ft (1830 meter) hingga 10.000 ft (3050 meter) dengan kondisi tekanan dan temperatur formasi yang tinggi (antara 80–1300°C). Semen kelas ini tersedia dalam dua varian ketahanan sulfat, yaitu *Moderate Sulfate Resistent (MSR)* dan *High Sulfate Resistent (HSR)*.

e. Kelas E

Merupakan semen yang digunakan untuk penyemenan dari kedalaman 10.000 ft (3050 meter) hingga 14.000 ft (4270 meter) dengan kondisi temperatur (130–1450°C) dan tekanan formasi tinggi. Tersedia dalam tipe *Moderate Sulfate Resistent (MSR)* dan *High Sulfate Resistent (HSR)*.

f. Kelas F

Merupakan semen yang digunakan untuk penyemenan dari kedalaman 10.000 ft (3050 meter) hingga 16.000 ft (4880 meter) dengan kondisi temperatur (130–1600°C) dan tekanan formasi yang sangat tinggi. Tersedia dalam tipe *Moderate Sulfate Resistent (MSR)* dan *High Sulfate Resistent (HSR)*.

g. Kelas G

Merupakan semen yang digunakan sebagai semen dasar pada penyemenan sumur dengan kedalaman mencapai 8000 ft (2440 meter) dengan temperatur hingga 900°C. Bila ditambah dengan *additives*, maka semen kelas G ini dapat digunakan pada tekanan dan temperatur yang lebih tinggi serta kedalaman yang lebih. sebagai semen dasar dan jika diperlukan dapat ditambah *additives* yang sesuai. Tersedia dalam tipe *Moderate Sulfate Resistent (MSR)* dan *High Sulfate Resistent (HSR)*.

h. Kelas H

Merupakan semen yang digunakan sebagai semen dasar, digunakan pada jarak kedalaman dari permukaan hingga 8000 ft (2440 meter) dengan temperatur hingga 950°C. Pada dasarnya memiliki kesamaan dengan kelas G, namun yang membedakan adalah ukurannya lebih besar. Tersedia dalam tipe *Moderate Sulfate Resistent (MSR)* dan *High Sulfate Resistent (HSR)*. Semen kelas A sampai kelas F merupakan semen yang tidak ditambahi dengan *additive* dalam penggunaannya, sedangkan untuk kelas G dan H ditambahi dengan *additive* bila diperlukan, semen dengan jenis ini sangat umum digunakan dalam operasi penyemenan karena sifatnya yang lebih stabil terhadap kondisi formasi dan *compatible* terhadap berbagai *additive*. Penggunaan semen kelas H dikhususkan dalam mendapatkan nilai densitas yang lebih besar daripada semen kelas G.

Pada **Tabel 2.2** di klasifikasikan jenis daripada semen berdasarkan kelas dan ketahanan kapasitas penggunaannya pada kondisi sumur.

Tabel 2.2. Klasifikasi Semen Berdasarkan API

API Classification	Mixing Water	Slurry Weight	Well Depth	Static Temperature
	(gal/sk)	(lb/gal)	(ft)	(°F)
A (portland)	5.2	15.6	0 to 6.000	80 to 170
B (portland)	5.2	15.6	0 to 6.000	80 to 170
C (high early)	6.3	14.8	0 to 6.000	80 to 170
D (retarded)	4.3	16.4	6000 to 12.000	170 to 260
E (retarded)	4.3	16.4	6000 to 14.000	170 to 290
F (retarded)	4.3	16.2	10.000 to 16.000	170 to 320
G (basic)	5.0	15.8	0 to 8.000	80 to 170
H (basic)	4.3	16.4	0 to 8.000	81 to 170

### **Additive**

*Additive* merupakan bahan-bahan yang ditambahkan dalam membuat bubur semen, untuk mendapatkan sifat-sifat bubur semen sesuai dengan kondisi formasi. Bubur semen yang dibuat dari bubuk semen dan air saja disebut *neat cement*.

Dalam pembuatan semen, terdapat faktor – faktor yang mempengaruhi bubur semen yaitu pengerasan dan harga semen dari segi keekonomisan. Selain itu, pembuatan bubur semen harus memperhatikan juga sifat dari bubur semen tersebut. Kondisi sumur juga dapat mempengaruhi dalam pemilihan jenis semen namun sangat jarang memilih bubuk semen hanya tergantung dari kondisi sumur saja. Oleh karena itu, agar dicapai hasil penyemenan yang diinginkan perlu ditambahkan suatu zat – zat kimia ke dalam net semen (adonan bubuk semen dan air). Zat kimia tersebut biasa dikenal dengan nama zat aditif. Adapun fungsi aditif adalah sebagai berikut:

#### **1. Accelerator**

*Accelerator* adalah aditif yang dapat mempercepat proses pengerasan suspensi semen, mengurangi waktu WOC dan dapat juga mempercepat naiknya strength semen serta mengimbangi aditif yang lain agar tidak tertunda proses pengerasannya. Penggunaan *accelerator* seringkali digunakan pada sumur dangkal karena temperatur dan tekanannya rendah serta jarak untuk mencapai target tidak terlalu panjang.

Aditif yang berlaku sebagai *accelerator* adalah kalsium klorida, sodium klorida, gypsum, sodium silikat, natrium nitrat dan air laut. Kalsium klorida dapat mempercepat *thickening time* dan menaikkan *compressive strength* dengan penambahan kalsium klorida antara 2 – 4 % ke dalam suspensi semen. Sodium klorida juga berpengaruh terhadap *thickening time* dan *compressive strength* semen dengan kadar sampai 10% BMOMW (*by mix on mix water*).

#### **2. Retarder**

*Retarder* adalah aditif yang dapat memperlambat proses pengerasan suspensi semen, sehingga suspensi semen mempunyai waktu untuk mencapai kedalaman yang diinginkan. *Retarder* paling sering digunakan dalam penyemenan *casing* pada sumur yang bertemperatur tinggi atau mempunyai kolom penyemenan yang panjang.

#### **3. Extender**

*Extender* adalah aditif yang berfungsi untuk menaikkan volume suspensi semen, yang berhubungan dengan mengurangi densitas suspensi semen tersebut, biasanya diikuti

dengan penambahan air. *Extender* dapat terdiri dari bentonite, attapulgit, sodium silikat, pozzolan, perlite dan gilsonite.

#### 4. **Weight Agent**

*Weight Agent* adalah aditif yang berfungsi menaikkan densitas suspensi semen. Umumnya digunakan pada sumur yang mempunyai tekanan formasi yang tinggi. *Weight agent* terdiri dari hematite, ilmenite, barite, dan pasir.

#### 5. **Dispersant**

*Dispersant* adalah aditif yang dapat mengurangi viscositas suspensi semen. Pengurangan viscositas terjadi karena dispersant mempunyai kelakuan sebagai pengencer. Hal ini menyebabkan suspensi semen menjadi encer, sehingga dapat mengalir dengan aliran turbulen walaupun di pompa dengan rate yang rendah. Bahan dasarnya adalah polynaphthalene sulfonate.

#### 6. **Fluid Loss Control Agents**

*Fluid loss Control Agents* adalah aditif yang berfungsi mencegah hilangnya fasa liquid semen kedalam formasi atau mencegah terjadinya proses filtrasi, yaitu hilangnya cairan pada bubuk semen masuk ke dalam formasi yang permeable sebagai akibat tekanan kolom cairan di atasnya. Tujuannya adalah menghindari terjadinya pengentalan bubuk semen dan *flash set*, sehingga terjaga kandungan cairan pada bubuk semen. Yang termasuk ke dalam *Fluid loss Control Agents* adalah polymer, CMHEC, dan latex.

#### 7. **Lost Circulation Control Agents**

*Lost Circulation Control Agents* merupakan aditif yang mengontrol hilangnya suspensi semen ke dalam formasi yang lemah atau bergoa. Aditif yang termasuk di antaranya adalah gilsonite, cellophane flakes, gypsum, bentonite dan nut shell.

#### 8. **Antifoam**

*Anti Foam* digunakan untuk mengendalikan dan menghilangkan gelembung udara pada bubuk semen dengan merubah surface tension, sehingga pembentukan bubuk semen sempurna. Bahan dasarnya adalah polyglycol,

### **Metode Penelitian**

Pengujian laboratorium terhadap komposisi bubuk semen sangat diperlukan untuk memperoleh kualitas semen yang diharapkan. Pengujian pengaruh penambahan additive terhadap sifat fisik semen yang di lakukan di laboratorium di harapkan dapat sesuai dengan karakteristik sumur.

Studi laboratorium dilakukan untuk mengetahui kualitas semen kelas B terhadap pengaruh penambahan accelerator " $\text{CaCl}_2$ ," " $\text{NaCl}$ " & " $\text{NaNO}_3$ " Pada variasi temperature (BHCT) yaitu  $60^\circ\text{C}$ ,  $70^\circ\text{C}$  &  $80^\circ\text{C}$  terhadap thickening time, compressive strength dan rheology bubuk semen. Pengujian laboratorium mencakup :

#### 1. Pengujian Thickening Time

Tes Thickening Time adalah metode yang diterima untuk mengukur berapa lama semen lumpur harus tetap dapat dipompa di bawah suhu dan tekanan kondisi simulasi turun-lubang. Tes ini dilakukan dalam berbagai suhu dan mengatur konstan dalam kondisi tekanan. Tes ini melibatkan pencampuran bubuk semen sesuai dengan prosedur API saat ini, menempatkan bubuk ke dalam cangkir bubuk, dan kemudian menempatkan cangkir bubuk ke dalam konsistometer untuk pengujian. Pengujian tekanan dan suhu yang terkontrol untuk mensimulasikan kondisi yang akan bubuk hadapi di dalam sumur. Tes menyimpulkan ketika bubuk mencapai konsistensi

dianggap unpumpable dalam sumur. Tes dikatakan ditetapkan setelah mencapai konsistensi dari 70 Bearden Konsistensi (BC) Unit bawah keadaan dinamis menggunakan HPHT Konsistometer.

## 2. Pengujian Compressive Strength

Tekanan yang diperlukan untuk menghancurkan set semen diukur dalam tes ini. Tes ini menunjukkan bagaimana sampel semen akan menahan tekanan diferensial dalam sumur. Dalam pengujian destruktif bubuk semen dituangkan ke dalam cetakan kubus dan kubus semen kemudian dihancurkan untuk menentukan kuat tekan mereka pada alat *Hydraulic Press Machine*.

## 3. Pengujian Rheology

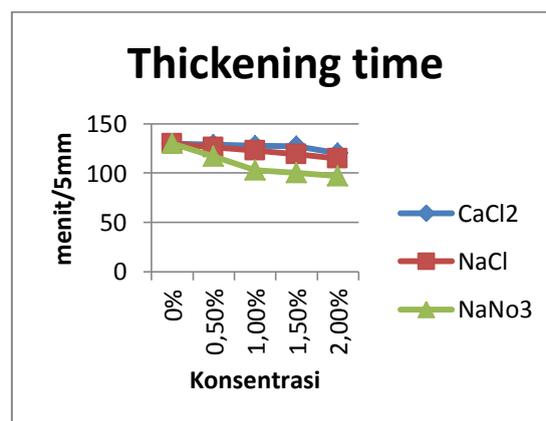
Untuk benar memprediksi tekanan gesekan yang akan terjadi ketika memompa berbagai cairan di dalam sumur, sifat reologi dari lumpur harus dikenal sebagai fungsi temperatur. Tegangan geser dan geser perilaku tingkat bubuk diukur dalam tes ini. Viskositas diukur dalam centipoises (cp) menggunakan Fan Viscometer. Pengujian telah dilakukan dengan menggunakan bahan seperti; Sebuah semen kelas B, pelarut air, dan *accelerator* "CaCl<sub>2</sub>", "NaCl", dan "NaNO<sub>3</sub>" sebagai aditif bubuk semen. Pengujian dilakukan dengan membuat bubuk semen dengan mempertahankan SG semen 3,14, variasi suhu sirkulasi (BHCT) yang digunakan adalah 60 ° C, 70 ° C, dan 80 ° C, dengan variasi konsentrasi *accelerator* 0,5%, 1,0%, 1,5 % dan 2%.

## Hasil dan Pembahasan

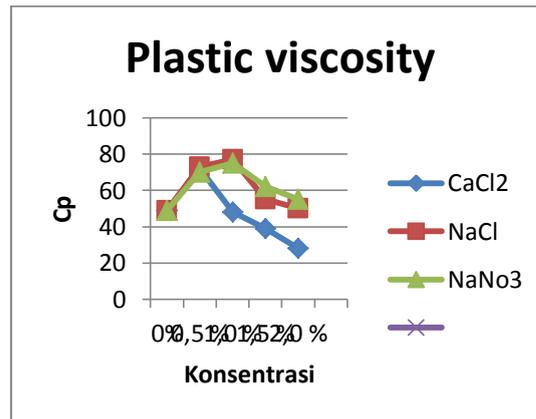
Pengujian dilakukan dengan menggunakan semen kelas B, air pelarut, dan tiga jenis *accelerator* yaitu "CaCl<sub>2</sub>", "NaCl", dan "NaNO<sub>3</sub>" sebagai *additive* bubuk semen yang akan diteliti, dan masing-masing memiliki *specific gravity* sebesar 1,96 untuk "CaCl<sub>2</sub>", 2,17 untuk "NaCl" dan 2,26 untuk "NaNO<sub>3</sub>". Semua bahan diperoleh dari Laboratorium Pemboran dan Produksi Universitas Trisakti.

Pengujian dilakukan dengan membuat bubuk semen dengan mempertahankan SG semen sebesar 3,14, variasi temperatur sirkulasi (BHCT) yang digunakan adalah 60°C, 70°C, dan 80°C, dengan variasi konsentrasi *accelerator* 0,5 %, 1,0 %, 1,5 % dan 2 %. Penelitian ini dilakukan sesuai standar kelayakan API 10A (*specification for cement and materials for well cementing*).

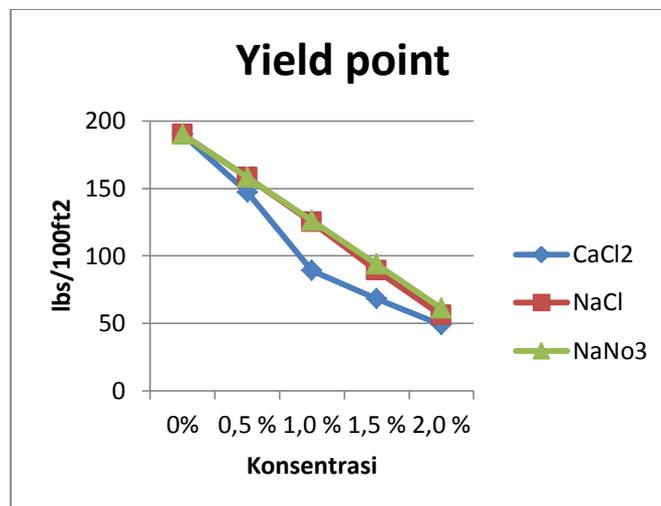
Dan hasil yang di peroleh adalah sebagai berikut:



Gambar 1. Grafik Penambahan Konsentrasi Accelerator "CaCl<sub>2</sub>", "NaCl" dan "NaNO<sub>3</sub>" Terhadap Thickening Time



Gambar 2. Grafik Penambahan Accelerator “CaCl<sub>2</sub>”, “NaCl” dan “NaNO<sub>3</sub>” Terhadap Plastic Viscosity



Gambar 3. Grafik Penambahan Accelerator “CaCl<sub>2</sub>”, “NaCl” dan “NaNO<sub>3</sub>” Terhadap Yield Point

### Kesimpulan

Kesimpulan laboratorium tentang pengaruh penambahan konsentrasi accelerator “CaCl<sub>2</sub>”, “NaCl”, dan “NaNO<sub>3</sub>” pada variasi temperatur BHCT terhadap *thickening time*, *compressive strength* dan *rheology* bubuk semen, menghasilkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Penambahan konsentrasi *accelerator* “CaCl<sub>2</sub>”, “NaCl”, dan “NaNO<sub>3</sub>” terbukti NaNO<sub>3</sub> paling efektif dalam mempercepat proses *thickening time*, yang terbukti dari semakin cepatnya pengerasan pada setiap penambahan konsentrasi *accelerator* NaNO<sub>3</sub>.
2. Penambahan *accelerator* NaNO<sub>3</sub> sebanyak 2%, menghasilkan *thickening time* yang paling cepat yaitu 97 menit/5mm.
3. Kenaikan pada *Bottom Hole Circulating Temperature* (BHCT) mempengaruhi nilai *compressive strength*, akan tetapi pada temperatur tertentu justru dapat menurunkan *compressive strength*.
4. Penambahan konsentrasi *accelerator* NaCl sebanyak 2% pada temperatur 80°C, menghasilkan *compressive strength* terkuat yaitu 1394 psia.
5. Penambahan *accelerator* “CaCl<sub>2</sub>”, “NaCl”, dan “NaNO<sub>3</sub>” sebanyak 0,5% terbukti menaikkan *plastic viscosity* namun terus turun pada penambahan konsentrasi 1%, 1,5% dan 2%.

6. Penambahan konsentrasi *accelerator* " $\text{CaCl}_2$ ", " $\text{NaCl}$ ", dan " $\text{NaNO}_3$ " dapat menurunkan parameter nilai yield point, terbukti dari hasil penelitian ketiga jenis *accelerator* yang menunjukkan penurunan secara konstan pada tiap penambahan konsentrasi *accelerator*.

### Daftar Pustaka

Diktat Kuliah Teknik Pemboran I, Jurusan Teknik Perminyakan, Universitas Trisakti.

Diktat Kuliah Teknik Pemboran II, Jurusan Teknik Perminyakan, Universitas Trisakti.

Penuntun Praktikum Teknik Pemboran, Laboratorium Teknik Pemboran dan Produksi, Jurusan Teknik Perminyakan, Jakarta, 2001,

"Specification For Material And Testing For Oil Well Cement", API Specification 10. Fifth Edition, 1990.

Nelson E.B., "Well Cementing", Schlumberger Educational Series, Houston-Texas, 1990.  
Halliburton Energy Services, "Halliburton Cementing Technology Manual", Halliburton Co. Duncan, Oklahoma. USA, 1993.

Deborah Duckworth., "Metrics for Evaluating Cementing Success", SPE, 2009.

K. Smith, Dwight., "Worldwide Cementing Practices", American Petroleum Institute, 1991.  
*Petrowiki.org*