

**PENGARUH PENAMBAHAN “BARITE”, “HEMATITE”, DAN “MECOMAX”  
TERHADAP THICKENING TIME, COMPRESSIVE STRENGTH, DAN RHEOLOGI  
BUBUR SEMEN PADA VARIASI TEMPERATUR (BHCT) DI LABORATORIUM  
PEMBORAN DAN PRODUKSI**

Afdhal Huda\*, Abdul Hamid\*\*, dan Djoko Sulistyanto\*\*\*

\*) Mahasiswa Jurusan Teknik Perminyakan – Universitas Trisakti

\*\*) Dosen Pembimbing I Jurusan Teknik Perminyakan – Universitas Trisakti

\*\*\*) Dosen Pembimbing II Jurusan Teknik Perminyakan – Universitas Trisakti

**ABSTRAK**

Problem yang sering terjadi pada perencanaan kegiatan penyemenan adalah penentuan campuran bubuk semen yang tepat dan sesuai dengan kondisi sumur yang menjadi target penyemenan. Bubur semen terlebih dahulu dirancang sedemikian rupa dan juga diuji tingkat kelayakannya sebelum digunakan untuk penyemenan, sehingga sesuai dengan karakteristik sumur target penyemenan. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan konsentrasi tiga zat additive yang berperan sebagai weighting agent, yaitu Barite, Hematit, dan Mecomax, yang dilakukan pada variasi temperatur BHCT (30°C dan 50°C) terhadap thickening time, compressive strength, dan rheology bubuk semen. Tes laboratorium dilakukan dengan bahan dasar semen bubuk kelas G API 10A, air mineral dan tiga zat additive tersebut.

Dari penelitian ini diperoleh hasil bahwa penambahan zat additive weighting agent menurunkan nilai thickening time penurunan ini disebabkan oleh faktor perubahan temperature, karena temperature 50°C memiliki nilai lebih kecil dari temperature 30°C, dan juga memiliki pengaruh terhadap nilai compressive strength yang cukup signifikan. Perubahan nilai compressive strength lebih disebabkan oleh faktor perubahan temperatur, pada temperatur 50°C, nilai compressive strength akan lebih tinggi daripada temperature 30°C. Terakhir, penambahan weighting agent juga berpengaruh terhadap penurunan nilai yield point, akan tetapi tidak mempengaruhi nilai plastic viscosity secara signifikan.

Kata Kunci : Cementing, Additive, Wighting Agent

**ABSTRACT**

*The most common problem with cement planning is the determination of the right mixture of cement slurry and in accordance with the well condition that is the target of cementing. The cement slurry is first designed in such a way and also tested the feasibility level before being used for cementing, so as to fit the well characteristics of cementing targets. This research was conducted to determine the effect of adding the concentration of three additive substances that act as weighting agent, Barite, Hematit, and Mecomax, performed on variations of BHCT temperature (30 ° C and 50 ° C) to thickening time, compressive strength and rheology of slurry cement. Laboratory tests carried out with the base material of class G-cement powder G API 10A, mineral water and the three additive substances.*

*From this research, it is found that the addition of additive weighting agent decrease the thickening time value of this decrease caused by temperature change factor, because temperature 50 ° C has smaller value than temperature 30 ° C, and also has significant compressive strength. The change of compressive strength is caused by temperature change factor, at 50 ° C, compressive strength value will be higher than temperature 30 ° C. Finally, the addition of the weighting agent also affects the decrease in yield point value, but does not affect the value of plastic viscosity significantly.*

Keywords : Cementing, Additive, Wighting Agent

## PENDAHULUAN

Cementing merupakan bagian penting dalam suatu kegiatan pemboran. Penyemenan yang kurang tepat akan menyebabkan terbentuknya channeling pada semen, adanya produksi atau gas yang tidak diinginkan, serta korosi pada pipa. Untuk menghindari problema tersebut maka dibutuhkan perhitungan-perhitungan sebelum melakukan operasi penyelesaian sumur (well completion). Sebelum dilakukan operasi penyemenan terlebih dahulu dilakukan rancangan terhadap komposisi bubur semen. Dalam perancangan bubur semen, terdapat tiga komponen utama yaitu bubuk semen, air dan additive sebagai zat atau campuran tambahan yang bekerja untuk mengontrol sifat dari bubur semen.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh tiga zat additive yang berperan sebagai weighting agent, yaitu "Barite", "Hematite", dan "Mecomax". Tiga zat additive weighting agent ini kemudian divariasikan konsentrasinya dan diuji pengaruhnya terhadap sifat-sifat semen pemboran, diantaranya thickening time, compressive strength, dan rheology.

Compressive strength didefinisikan sebagai kekuatan semen dalam menahan tekanan tekanan yang berasal dari formasi maupun dari casing. Strength minimum yang direkomendasikan oleh API untuk dapat melanjutkan operasi pemboran adalah 1000 psi. Thickening time merupakan waktu yang diperlukan bubur semen mencapai konsistensi 100 Bc, nilai 100 Bc merupakan batasan bagi bubur semen masih dapat dipompa lagi. Rheology merupakan parameter aliran fluida (bubur semen) dalam proses sirkulasinya.

Metodologi yang dilakukan dalam penelitian ini adalah dengan melakukan tes laboratorium. Tes dilakukan dengan komposisi bubur semen kelas G sebagai bahan dasar semen, air mineral sebagai fluida pencampur dan tiga jenis additive weighting agent yaitu "Barite", "Hematite", dan "Mecomax".

Campuran bubuk semen dan air (neat cement) yang telah jadi terlebih dahulu di uji kelayakan sesuai dengan standar API 10A mengenai spesifikasi semen dan bahan-bahan dalam operasi penyemenan sumur. Dari tes berikut dapat di tentukan kelayakan bubur semen untuk diaplikasikan terhadap sumur target penyemenan.

Parameter-parameter yang sudah ditetapkan, divariasikan pengujiannya terhadap konsentrasi weighting agent (2%, 4%, 6%, 8%, dan 10%) dan temperatur BHCT (30°C, dan 50°C). Variasi daripada jenis weighting agent, konsentrasi weighting agent dan temperatur BHCT ini diuji pengaruhnya terhadap thickening time, compressive strength, dan rheology bubur semen.

## TEORI DASAR

Kegiatan cementing atau penyemenan adalah proses pendorongan bubur semen (cement slurry) ke dalam lubang sumur, kemudian didiamkan sampai bubur semen tersebut mengeras. Pendorongan bubur semen ke dalam sumur melalui casing, kemudian bubur semen didorong terus naik ke annulus antara casing dengan dinding lubang ataupun ke annulus antara casing dengan casing, dan selanjutnya bubur semen didiamkan sampai semen tersebut mengeras hingga mempunyai sifat melekat baik terhadap casing maupun formasi.

Proses pendorongan bubur semen menggunakan drill pipe atau tubing ke dalam lubang, dan bubur semen naik ke annulus antara casing dengan dinding lubang. Kegagalan dalam operasi penyemenan akan menimbulkan banyak permasalahan, antara lain; menyebabkan kerusakan pada formasi produktif, kehilangan sirkulasi lumpur, kecilnya laju produksi, dan masih banyak lagi.

### 2.1 Fungsi Penyemenan

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

- Menyekat casing dengan formasi batuan, agar casing kokoh dan kuat sehingga dapat berfungsi dengan sempurna.
- Melindungi casing dari tekanan dan temperatur formasi pada pengeboran.
- Mencegah korosi pada casing akibat kontak dengan fluida formasi.
- Memisahkan zona-zona antar lapisan yang berbeda.
- Memperbaiki casing yang pecah atau bocor (casing leaks) akibat korosi.
- Mengisolasi formasi yang tidak produktif dengan lubang sumur.

- g. Menutup zona lost circulation atau zona dengan tekanan tinggi.

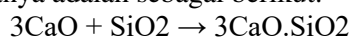
Untuk memenuhi berbagai tujuan di atas, semen pemboran yang baik harus memiliki sifat-sifat berikut ini:

- Mudah dipompakan (mempunyai rheology yang baik)
- Nilai thickening time yang sesuai dengan target penyemenan sumur.
- Mempunyai kekuatan (strength) yang cukup besar dalam waktu tertentu, serta mempunyai daya ikat yang baik dengan formasi batuan.
- Kekuatan semen (strength) tersebut hendaknya stabil dan tidak mudah berubah dalam waktu beberapa tahun.

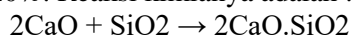
## 2.2 Komposisi Mineral Bubuk Semen

Bubuk semen Portland yang digunakan pada proses penyemenan mempunyai empat komponen mineral utama, yaitu :

- Tricalcium Silicate (3CaO.SiO<sub>3</sub> atau C3S)  
Mineral tricalcium silicate (3CaO.SiO<sub>2</sub>) yang dinotasikan sebagai C3S merupakan hasil reaksi antara CaO dan SiO<sub>2</sub>. Mineral ini merupakan komponen terbanyak dalam semen Portland, pada semen yang lambat pengerasannya (retarder) komposisinya berkisar antara 40% – 45%. Sedangkan pada semen yang cepat proses pengerasannya (high early strength cement), komposisinya antara 60% – 65%. Mineral ini memberikan kekuatan (strength) yang terbesar pada proses pengerasan awal semen. Reaksi kimianya adalah sebagai berikut:

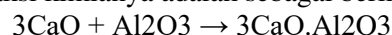


- Dicalcium Silicate (2CaO SiO<sub>2</sub> atau C2S)  
Mineral dicalcium silicate (2CaO.SiO<sub>2</sub>) yang dinotasikan sebagai C2S yang merupakan hasil reaksi antara CaO dan SiO<sub>2</sub>. Komponen ini sangat penting dalam memberikan kekuatan (strength) akhir semen, karena C2S mempunyai hidrasi lambat sehingga tidak berpengaruh dalam setting time bubuk semen. Komposisi C2S dalam semen tidak lebih dari 20%. Reaksi kimianya adalah :



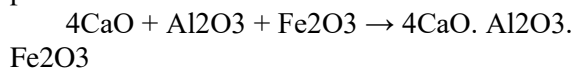
- Tricalcium Aluminate (3CaO Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> atau C3A)  
Mineral tricalcium aluminate (3CaO.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) yang dinotasikan sebagai C3A merupakan

hasil reaksi antara CaO dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Komponen ini berpengaruh terhadap rheology bubuk semen, walaupun memiliki kadar yang lebih sedikit dari komponen silikat (SiO<sub>2</sub>), yaitu berkisar antara 15% pada semen high early strength dan 3% pada semen yang tahan terhadap sulfat. C3A tidak berpengaruh terhadap strength akhir semen dan waktu terbentuknya dapat dikontrol dengan penambahan gypsum. Reaksi kimianya adalah sebagai berikut:



Tetracalcium Aluminoferrite (4CaO Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> atau C4AF)

Mineral tetracalcium aluminoferrite yang dinotasikan sebagai C4AF yang terbentuk dari reaksi CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Komponen ini mempunyai panas hidrasi yang rendah dan pengaruh yang sedikit pada strength semen. API (American Petroleum Institute) menjelaskan bahwa untuk semen dengan ketahanan sulfat yang tinggi, kadar C4AF ditambah dengan dua kali kadar C3A tidak boleh lebih dari 24% karena penambahan oksida besi yang berlebihan akan menaikkan kadar C4AF dan menurunkan C3A, sehingga berpengaruh menurunkan panas hasil reaksi (hidrasi) C3S dan C2S. Reaksi kimia penambahan C4AF adalah:



API membagi jenis semen berdasarkan komposisi keempat komponen mineral di atas. Bentuk akhir semen Portland mengandung campuran lain seperti alkali sulfat, magnesium, lime, dan gypsum.

Semen Portland terbuat dari bahan-bahan mentah tertentu, pemilihan bahan-bahan mentah tersebut sangat berpengaruh terhadap komposisi bubuk semen yang diinginkan. Ada dua macam bahan mentah yang dibutuhkan dalam menghasilkan semen Portland, yaitu :

### Material Calcareous

Yang termasuk material calcareous antara lain limestone hasil sedimentasi atau metamorf, koral (batu karang), batuan yang mengandung fosil-fosil kerang laut dan “batuan semen” (yang komposisinya sudah sama dengan semen Portland secara alami). Serta material calcareous buatan antara lain endapan calcium carbonate dan silika hasil pembuangan dari proses pabrik.

## Material Argillaceous

Material argillaceous alami yang sering digunakan antara lain clay, shale, marl, batu lumpur (endapan lumpur), slate, schist, debu vulkanik dan endapan lumpur alluvial. Ash atau abu dari hasil produksi pembakaran batu bara merupakan bahan buatan yang cukup penting.

## 2.3 Proses Pembuatan Semen

Pembuatan semen Portland dilakukan dengan melalui beberapa tahapan. Berawal dari peleburan bahan mentah, pembakaran campuran, proses pendinginan sampai akhirnya campuran digiling kedalam bentuk yang sesuai.

### 2.3.1 Proses Peleburan

Proses peleburan bahan semen umumnya dilakukan dengan dua macam cara, yaitu dry process dan wet process. Pada awal dry process, mineral clay dan limestone sama-sama dihancurkan lalu dikeringkan di rotary dries. Hasilnya dibawa ke tempat penggilingan untuk dileburkan. Kemudian hasil leburan ini masuk ke tempat penyaringan, dan partikel-partikel yang kasar dibuang dengan sistem sentrifugal untuk digiling kembali. Hasil saringan ini ditempatkan di beberapa silo dan setelah didapat komposisi kimia yang diinginkan, kemudian akan melalui proses pembakaran di Kiln.

Pada wet process, material mentah dicampur dengan air terlebih dahulu, lalu dimasukkan ke tempat penggilingan (Grinding Mill). Campuran ini kemudian dipompa melalui vibrating screen. Material-material yang kasar dikembalikan ke penggilingan, sementara campuran yang lolos yang berupa bubur ini ditampung pada suatu tempat berbentuk kolom-kolom. Di tempat ini, bubur mengalami proses rotasi dan pemampatan sehingga didapat campuran yang homogen. Setelah didapatkan komposisi kimia yang diinginkan, suspensi tersebut kemudian dibawa ke tempat pembakaran (Kiln).

### 2.3.2 Proses Pembakaran

Setelah melewati proses peleburan, campuran dimasukkan ke tempat pembakaran (Kiln). Di kiln, campuran ini berputar-putar kemudian berubah menjadi clinker. Ada enam tahap yang harus dilalui campuran di kiln, yaitu:

Tahap 1 (sampai 200°C)

Tahap 2 (200°C-800°C)

Tahap 3 (800°C-1100°C)

Tahap 4 (1100°C-1300°C)

Tahap 5 (1300°C - 1500°C - 1300°C)

Tahap 6 (1300°C - 1000°C)

### 2.3.3 Proses Pendinginan

Proses pendinginan dimulai pada akhir proses pembakaran, yaitu ketika temperatur mulai turun dari clinkering temperature (1500°C) pada tahap 5. Kualitas clinker dan semen bergantung dari laju pendinginan sekitar 4-5°C sampai

1250°C, kemudian cepat sekitar 18- 20°C per menit. Saat laju pendinginan lambat C3A dan C4AF dengan cepat mengkristal, Kristal C2S dan C3S menjadi lebih teratur dan MgO bebas juga mengkristal (disebut periclase).

### 2.3.4 Proses Penggilingan

Proses penggilingan menghasilkan sekitar 97-99% energi yang masuk berubah menjadi panas, yang berasal dari bola-bola baja yang terdapat pada fasilitas penggilingan. Oleh karena itu diperlukan pendinginan, karena bila terlalu panas akan banyak gypsum yang menghidrasi menjadi kalsium sulfat hemihidrat (CSH1/2) atau larutan anhidrit (CS) akibat suhu yang terlalu panas.

## 2.4 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.

### 2.4.1 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).

### 2.4.2 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. Pengklasikasian 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). 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 perkembangan industry perminyakan.

Standardisasi untuk klasifikasi bubuk semen pemboran yang dibuat oleh API tersebut adalah sebagai berikut:

#### Kelas A

Merupakan semen yang digunakan untuk penyemenan dari permukaan hingga kedalaman 6000 ft dengan temperatur hingga 80°C dan tidak tahan terhadap sulfat. Tersedia hanya dalam tipe Ordinary (O), pada umumnya digunakan untuk sumur dangkal ketika tidak dibutuhkan sifat semen tertentu atau dalam kondisi normal.

#### Kelas B

Adalah semen yang digunakan untuk penyemenan dari permukaan hingga kedalaman 6000 ft dan temperatur hingga 80°C, dalam formasi yang banyak mengandung sulfat sehingga perlu ketahanan terhadap sulfat. Tersedia dalam tipe Ordinary (O) dan Moderate Sulfate Resistent (MSR).

#### Kelas C

Merupakan semen yang digunakan untuk penyemenan dari permukaan hingga kedalaman 6000 ft dan temperatur hingga 80°C, mempunyai sifat high early strength (waktu proses pengerasan semen yang cepat). Tersedia dalam tipe Ordinary (O), Moderate Sulfate Resistent (MSR) dan High Sulfate Resistent (HSR).

#### Kelas D

Merupakan semen yang digunakan untuk penyemenan dari kedalaman 6000 ft hingga

10.000 ft dengan kondisi tekanan dan temperatur formasi yang tinggi (antara 80–130°C). Semen kelas ini tersedia dalam dua varian ketahanan sulfat, yaitu Moderate Sulfate Resistent (MSR) dan High Sulfate Resistent (HSR).

#### Kelas E

Merupakan semen yang digunakan untuk penyemenan sumur mulai dari kedalaman 6.000 ft (1830 meter) hingga pada kedalaman 14.000 ft (4270 meter) dengan kondisi temperatur (77–143°C) dan tekanan formasi tinggi. Tersedia dalam tipe Moderate Sulfate Resistent (MSR) dan High Sulfate Resistent (HSR).

#### Kelas F

Merupakan semen yang digunakan untuk penyemenan dari kedalaman 10.000 ft hingga 16.000 ft dengan kondisi temperatur (130–160°C) dan tekanan formasi yang sangat tinggi. Tersedia dalam tipe Moderate Sulfate Resistent (MSR) dan High Sulfate Resistent (HSR).

#### Kelas G

Merupakan semen yang digunakan sebagai semen dasar pada penyemenan sumur dengan kedalaman mencapai 8000 ft (2440 meter) dengan temperatur hingga 90°C. Tersedia dalam tipe Moderate Sulfate Resistent (MSR) dan High Sulfate Resistent (HSR).

#### Kelas H

Merupakan semen yang digunakan sebagai semen dasar, digunakan pada jarak kedalaman dari permukaan hingga 8000 ft dengan temperatur hingga 95°C. Pada dasarnya memiliki kesamaan dengan kelas G, namun yang membedakan adalah ukuran butirannya lebih besar. Tersedia dalam tipe Moderate Sulfate Resistent (MSR) dan High Sulfate Resistent (HSR).

Semen kelas A sampai kelas F merupakan semen yang jarang ditambahkan dengan additive dalam penggunaannya, sedangkan untuk kelas G dan H ditambahkan 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.

### 2.4.3 Additive

Additive merupakan bahan-bahan yang ditambahkan dalam membuat bubur semen, untuk mendapatkan sifat-sifat bubur semen sesuai dengan kondisi formasi. Terdapat banyak jenis additive yang bisa digunakan untuk dicampurkan ke dalam bubur semen pemboran. Sedangkan ubur semen yang dibuat dari bubuk semen dan air saja disebut neat cement.

## 2.5 Sifat-Sifat Semen Pemboran

Bubur semen yang digunakan dalam operasi penyemenan, dirancang dan diformulasikan dengan ketentuan tertentu, yang disesuaikan dengan kondisi formasi yang menjadi target penyemenan. Sifat-sifat bubur semen yang di maksud adalah sebagai berikut :

### 2.5.1 Strength

Strength pada semen terbagi menjadi dua, yaitu compressive strength dan shear strength. Compressive strength didefinisikan sebagai kekuatan semen dalam menahan tekanan-tekanan yang berasal dari formasi maupun dari casing, sedangkan shear strength didefinisikan sebagai kekuatan semen dalam menahan berat casing. Jadi compressive strength menahan tekanan-tekanan dalam arah horizontal dan shear strength menahan tekanan-tekanan pada arah vertikal.

Nilai compressive strength dipengaruhi oleh temperatur pengondisian, tekanan pengondisian, kadar air semen (WCR), kehalusan butiran semen dan lamanya waktu pengondisian. Dalam mengukur strength semen seringkali yang diukur adalah compressive strength, sedang shear strength kurang diperhatikan. Nilai compressive strength bernilai 8-10 kali lebih besar dari nilai shear strength.

Pengujian compressive strength di laboratorium dilakukan dengan menggunakan alat Hydraulic Pressure Machine. Hydraulic Pressure Machine merupakan mesin pemecah semen yang sudah mengeras dalam curing chamber. Strength minimum dirokemendasikan oleh API untuk dapat melanjutkan operasi pemboran adalah 1000 psi. Sedang shear strength yang baik tidak kurang dari 100 psi, sehingga casing dapat terikat dengan kokoh. Dalam keadaan ini pemboran sudah dapat dilanjutkan.

Suatu bubur semen yang ditempatkan pada interval zona tertentu, harus mempunyai strength tertentu, dan harus dengan syarat strength formasi yang akan disemen. Strength bubur semen dapat dinilai cukup baik untuk berbagai standar operasi, jika telah mencapai tekanan sebesar 500 psi.

### 2.5.2 Water Cement Ratio (WCR)

Water cement ratio adalah perbandingan antara volume air dan semen yang dicampurkan dengan bubuk semen di waktu membuat bubur semen. Kadar air minimum adalah jumlah air yang dicampurkan tanpa menyebabkan consistency dari bubur semen lebih dari 30 poise. Bila air yang ditambahkan lebih kecil dari kadar minimumnya maka akan menaikkan densitas bubur semen yang akan menimbulkan gesekan (friksi) yang cukup besar di annulus sewaktu bubur semen dipompakan yang akhirnya akan menaikkan tekanan di annulus. Bila formasi yang dilalui tidak bahan maka formasi bias rekah.

Aturan penambahan air untuk masing masing additive dalam membuat bubur semen tidak dibahas secara spesifik pada subab ini. Sehingga volume air total yang diperlukan dalam membuat bubur semen adalah volume air yang diperlukan untuk mencampur bubuk semen ditambah dengan volume yang diperlukan untuk membasahi additive yang digunakan.

### 2.5.3 Densitas

Densitas bubur semen adalah perbandingan total berat bubuk semen, air pencampur, dan additive yang digunakan, terhadap total volume bubuk semen, air pencampur, dan additive. Penambahan air dan additives akan berpengaruh pada densitas bubur semen. Pada umumnya densitas bubur semen dibuat lebih besar dari densitas lumpur, hal ini mengingat bahwa kontaminasi lumpur akan meningkat dengan densitas yang relatif sama yang mengakibatkan bubur semen akan masuk kedalam rekahan yang terjadi.

Densitas bubur semen sangat berpengaruh terhadap tekanan hidrostatis bubur semen di dalam lubang sumur. Bila formasi tidak sanggup menahan tekanan bubur semen, maka akan menyebabkan formasi pecah, sehingga terjadi lost circulation.

#### 2.5.4 Thickening Time

Thickening time adalah waktu yang dibutuhkan bubuk semen untuk mencapai konsistensi 100 Bc. Harga 100 Bc ini merupakan batas bubuk semen masih dapat dipompakan lagi sehingga thickening time sering juga disebut dengan pumpability. Dalam hidrasi semakin lama semen mengeras maka viskositasnya semakin meningkat. Viskositas pada semen disebut konsistensi karena semen merupakan fluida yang non-newtonian.

Besarnya thickening time yang diperlukan adalah tergantung dari kedalaman penyemenan, volume bubuk semen yang akan dipompakan serta jenis penyemenan. Umumnya thickening time adalah 3–3,5 jam untuk penyemenan dengan kedalaman 6.000 – 18.000 ft. Waktu tersebut termasuk waktu pembuatan bubuk semen sampai penempatan semen di belakang casing, sedangkan pada penyemenan yang lebih dalam dimana tekanan dan temperature tinggi sehingga diperlukan additive untuk memperlambat pengerasan (thickening time).

Waktu pemompaan (pumpability time) yang maksimum umumnya disamakan dengan thickening time dengan pertimbangan factor keamanan. Waktu pemompaan yang diperlukan dipengaruhi oleh tinggi kolom dan volume bubuk semen yang harus dipompakan, kecepatan laju alir pemompaan dan temperatur operasi sumur tersebut (temperatur statik dan temperatur sirkulasi).

#### 2.5.5 Waiting On Cement (WOC)

Waiting on cement atau waktu yang digunakan untuk menunggu bubuk semen mengeras adalah waktu yang dihitung saat menunggu pengerasan bubuk semen setelah semen selesai ditempatkan. WOC dapat dihitung ketika set cement cap diturunkan hingga kemudian cement cap dibor kembali untuk operasi selanjutnya. WOC ditentukan oleh faktor-faktor seperti tekanan dan temperatur sumur, WCR, compressive strength dan additive yang dicampurkan ke dalam bubuk semen. WOC berdasarkan API adalah jika compressive strength mencapai 500 psi yang pada umumnya diambil waktu 6-12 jam.

#### 2.5.6 Rheology

Rheology merupakan disiplin ilmu yang mempelajari tentang sifat-sifat aliran pada berbagai jenis fluida. Pada fluida semen sifat-

sifat aliran yang diuji adalah viskositas, yield point dan plastic viscosity. Pada prinsipnya, terdapat dua tipe fluida, yaitu fluida Newtonian dan Non-Newtonian.

Fluida Newtonian adalah fluida yang memiliki viskositas yang konstan terhadap laju geseknya (shear rate) contohnya air, sedangkan fluida NonNewtonian contohnya semen, memiliki viskositas yang berubah dengan adanya laju gesekan hingga pada titik kulminasi, kemudian viskositasnya konstan. Viskositas ini disebut dengan viskositas plastis (plastic viscosity), serta timbul gel strength dan dan yield point sebelum terjadi aliran fluida. Hal ini disebabkan karena adanya tahanan geser (shear stress) antara partikel padatan yang tersuspensi dalam fluida Newtonian. Pengujian sifat rheology bubuk semen dapat dilakukan dengan Fann VG Meter.

#### 2.6 Additive Bubur Semen

Additives merupakan material-material yang ditambahkan dalam pembuatan bubuk semen untuk mendapatkan sifat-sifat bubuk semen sesuai dengan yang diinginkan. Bubur semen yang dibuat berbahan bubuk semen dan air saja disebut dengan neat cement. Additives berperan penting dalam perencanaan bubuk semen karena secara umum fungsi dari additive ini adalah:

- Mempercepat atau memperlambat thickening time.
- Memperbesar strength.
- Menaikkan atau menurunkan densitas bubuk semen.
- Menaikkan volume bubuk semen.
- Mencegah lost circulation.
- Mengurangi fluid loss.
- Menaikkan sifat tahan lama (durability).
- Menekan biaya.

##### 2.6.1 Accelerator

Accelerator adalah additive yang dapat mempercepat proses pengerasan bubuk semen sehingga thickening time dapat diperpendek. Selain itu dapat juga mempercepat naiknya strength semen dan mengimbangi additive lain (seperti dispersant dan fluid-loss control agent), agar tidak tertunda proses pengerasan bubuk semennya. Sumur yang dangkal sering menggunakan accelerator karena temperatur dan tekanan yang umumnya rendah.

Contoh additive yang berlaku sebagai accelerator adalah kalsium klorida, sodium

klorida, gypsum, sodium silikat dan air laut. Berikut dijelaskan sebagian bahan-bahan yang bertindak sebagai accelerator:

#### Kalsium Klorida

Penambahan kalsium klorida antara 2–4 % saja ke dalam bubur semen dapat mempercepat thickening time dan menaikkan compressive strength.

#### Sodium Klorida

Sodium klorida atau natrium klorida dengan kadar sampai 10 % BWOMW (by weight on mix water) berlaku sebagai accelerator.

### 2.6.2 Retarder

Retarder adalah additive yang dapat memperlambat proses pengerasan bubur semen sehingga bubur semen mempunyai waktu yang cukup untuk mencapai kedalaman target yang diinginkan atau dengan kata lain thickening timenya lebih panjang. Retarder sering digunakan dalam penyemenan casing pada sumur-sumur yang dalam, sumur-sumur yang bertemperatur tinggi atau untuk kolom penyemenan yang panjang.

#### Gilsonite

Additive Gilsonite adalah hidrokarbon asphaltene yang berupa butiran. Gilsonite selain sebagai retarder biasanya digunakan untuk mengontrol lost circulation dan akan bekerja maksimal pada BHT antara 20°C hingga 110°C. Tipikal konsentrasi berkisar 5-50lb/sk dari semen. Berat jenis gilsonite yang rendah membantu menurunkan densitas dari bubur semen dan membantu meningkatkan kemampuannya mengendalikan lost circulation.

#### Hydrated Lime

Hydrated Lime (Calcium Hydroxide) merupakan senyawa anorganik dengan rumus kimia  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Berbentuk Kristal yang tidak berwarna atau bubuk putih yang dihasilkan ketika kapur (calcium oxide) dicampur dengan air. Dengan kandungan kapur yang tinggi, Hydrated Lime mampu memperlambat pengerasan bubur semen.

#### Pozmix-A

Pozmix-A merupakan bahan additive untuk meringankan bubur semen dan menaikkan nilai pumpability bubur semen

tersebut. Additive ini dapat digunakan pada bottomhole temperatures (BHT) antara 27°C dan 288°C. Additive Pozmix-A dapat digunakan pada seluruh tipe kelas pada semen.

#### CMHEC

CMHEC atau Carboxymethyl Hydroxyethyl Cellulose merupakan polisakarida yang terbentuk dari kayu dan tetap stabil bila terdapat alkalin pada bubur semen. CMHEC tetap efektif sebagai retarder hingga temperatur 121°C (250°F). CMHEC membutuhkan banyak air dalam pencampurannya.

### 2.6.3 Extender

Extender adalah additive yang berfungsi untuk menaikkan volume bubur semen, yang berhubungan dengan mengurangi densitas bubur tersebut. Pada umumnya penambahan extender ke dalam bubur semen akan diikuti dengan penambahan air. Penurunan densitas bubur semen akan mengurangi tekanan hidrostatik selama penyemenan. Adapun yang termasuk extender antara lain adalah bentonite, sodium silikat, dan pozzolan.

#### Bentonite

Bentonite merupakan extender yang umum digunakan dan bersifat banyak menghisap air, sehingga volume bubur semen bisa menjadi 10 kalinya.

Bila di tambahkan ke dalam bubur semen akan membentuk filter cake yang bertindak sebagai film dalam menutupi permukaan formasi yang porous dan permeable. API merekomendasikan bahwa setiap penambahan 1 % bentonite ditambahkan pula 5,3 % air (BWOC), yang berlaku untuk seluruh kelas semen. Pengaruh lainnya adalah yield semen naik, kualitas perforasi lebih baik, compressive strength menurun, permeabilitas naik, viskositas naik dan biaya lebih murah. Untuk temperatur di atas 110°C, penambahan bentonite akan menurunkan compressive strength dan menaikkan permeabilitas semen.

#### Sodium Silikat

Sodium silikat dengan kadar 0,2 – 3 % BWOC dapat menurunkan densitas bubur semen dari 14,5 ppg menjadi 11 ppg. Dan umumnya dengan bertambahnya kadar sodium silikat tersebut maka compressive strength semen akan turun.



## Pozzolan

Pozzolan terbentuk dari material-material seperti aluminium dan silika yang bereaksi dengan kalsium hidroksida. Ada dua jenis pozzolan yaitu pozzolan alam seperti diatomaceous earth dan pozzolan buatan seperti fly ashes. Diatomaceous earth sebagai extender tidak memperbesar viskositas bubuk semen, sedangkan fly ashes dapat menaikkan compressive strength.

### 2.6.4 Weighting agent

Weighting agent adalah additive yang berfungsi menaikkan densitas bubuk semen. Umumnya weighting agent digunakan pada sumur-sumur yang mempunyai tekana formasi yang tinggi. Agar penggunaannya efektif, maka zat ini harus mempunyai ukuran partikel yang sesuai dengan ukuran butiran semen dan tidak banyak meresap air. Additive-additive yang termasuk di dalam weighting agent adalah hematite, ilmenite, barite dan pasir.

## Hematite

Hematite adalah material berbentuk kristal yang berwarna merah. Dengan mempunyai specific gravity sebesar 4,5 maka hematite termasuk paling efisien sebagai weighting agent. Densitas bubuk semen bisa mencapai 19 – 22 ppg bila ditambah hematite.

## Mecomax

Ilmenite merupakan additive yang terbaik sebagai weighting agent. Material ini merupakan inert solid dan tidak berpengaruh terhadap thickening time. Dengan mempunyai specific gravity sekitar 4,8 maka bubuk semen bila ditambahkan ilmenite bisa mencapai densitas lebih dari 20 ppg.

## Barite

Barite merupakan additive yang paling umum digunakan sebagai weighting agent, baik untuk bubuk semen maupun dalam lumpur pemboran. Penambahan barite harus disertai pula dengan penambahan air untuk membasahi permukaan partikel barite yang besar. Dengan specific gravity 4,02 maka barite dapat menaikkan densitas bubuk semen hingga 19 ppg.

## Pasir

Pasir yang digunakan sebagai weighting agent adalah pasir Ottawa. Dengan specific

gravity 2,63 maka densitas bubuk semen yang mengandung pasir Ottawa ini dapat mencapai 18 ppg. Penggunaan pasir Ottawa ini biasanya digunakan untuk penyemenan lubang sebagai tempat pemasangan whipstock dan untuk plug job.

### 2.6.5 Dispersant

Dispersant adalah additive yang dapat mengurangi viskositas bubuk semen. Pengurangan viskositas atau friksi terjadi karena dispersant mempunyai kelakuan sebagai thinner (pengencer). Hal ini menyebabkan bubuk semen menjadi encer, sehingga dapat mengalir dengan turbulen walaupun dipompakan dengan rate (laju) yang rendah dan telah menggunakan weighting agent.

## Polymelamine Sulfonate

Polymelamine sulfonate (PMS) dengan kandungan 0,4% BWOC sering dicampurkan dengan bubuk semen sebagai dispersant. Sampai dengan temperatur 85°C (185°F), PMS akan tetap aktif karena unsur-unsur kimianya masih stabil.

## Polynaphtalena Sulfonate

Polynaphtalena sulfonate adalah dispersant yang umum dipakai, bila pada bubuk semen berisi NaCl, maka ditambahkan PNS sebanyak 4 % BWOC.

## Fluid-Loss Control Agent

Fluid-loss control agent adalah additive yang berfungsi mencegah hilangnya fasa liquid semen ke dalam formasi, sehingga terjaga kandungan cairan pada bubuk semen. Pada primary cementing, fluid loss yang diizinkan sekitar 150– 250 cc yang diukur selama 30 menit dengan menggunakan saringan berukuran 325 mesh dan pada tekanan 1000 psi. sedangkan pada squeeze cementing, fluid loss yang diizinkan sekitar 55 – 65 cc.

Additive yang termasuk di dalam fluid-loss control agent diantaranya HEC, CMHEC, PVP dan latex. Bahan-bahan tersebut menurunkan laju filtrasi dengan dua cara, yaitu membentuk film yang mengontrol aliran air dari bubuk semen dan mencegah terjadinya dehidrasi dengan serta memperbesar distribusi ukuran partikel sehingga menjebak fluida tetap di dalam bubuk semen.

### Loss Circulation Control Agent

Loss circulation control agent merupakan additive yang mengontrol hilangnya bubuk semen ke dalam formasi yang lemah atau bergua saat proses penyemenan berlangsung. Biasanya material loss circulation control agent yang dipakai pada lumpur pemboran digunakan pula dalam bubuk semen. Jenis additive loss circulation control agent diantaranya bubuk kayu, serbuk gergaji, gilsonite, plastik, mika, cellophane flakes, gypsum, bentonite dan nut shells yang berperan sebagai bahan penyumbat serta mengurangi densitasnya.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian dengan topik Pengaruh Penambahan "Barite", "Hematite" dan "Micromax" Pada Variasi Temperatur (BHCT) Terhadap Thickening Time, Compressive Strength, dan Rheology Bubur Semen ini menggunakan bahan bubuk semen kelas G, air mineral dan tiga jenis weighting agen sebagai campuran bubuk semen.

Penggunaan tiga jenis weighting agent dimaksudkan untuk membandingkan pengaruh penambahannya terhadap campuran bubuk semen. Sehingga didapatkan weighting agent jenis apa dan pada konsentrasi berapa yang memiliki pengaruh paling besar terhadap rheology, thickening time dan compressive strength bubuk semen serta akan diketahui perendaman pada temperature berapa yang memiliki hasil thickening time dan compressive strength paling maksimal.

Pengujian pengaruh penambahan konsentrasi menggunakan tiga jenis retarder yaitu Barite (SG=4.02), Hematite (SG=4.50), dan Mecomax (SG=4.80). Pengujian awal dilakukan untuk verifikasi apakah bahan dasar semen yang digunakan untuk penelitian termasuk dalam spesifikasi API 10A. Pengujian tersebut dilakukan tanpa penambahan weighting agent apapun, sehingga dapat diketahui apakah hasilnya dapat diverifikasi dengan spesifikasi API 10A.

Pengujian rheology menggunakan Fann VG meter dilakukan dengan menambahkan tiga jenis weighting agent berbeda dengan ditambahkan variasi konsentrasi (2%,4%,6%,8%,10%) pada formulasi neat cement (semen kelas G dan air mineral). Pada penelitian ini, didapatkan hasil bahwa penambahan konsentrasi weighting agent, tidak begitu berpengaruh pada plastic viscosity,

namun pada additive Hematite plastic viscosity berubah secara signifikan. Sedangkan pada pengujian yield point, penambahan konsentrasi weighting agent, mampu menaikkan yield point, namun hanya pada additive barite saja kenaikan nya tidak tinggi.

Pengujian kedua yaitu thickening time, dilakukan dengan menambahkan tiga jenis weighting agent dengan variasi konsentrasi (2%,4%,6%,8%,10%) pada formulasi neat cement (semen kelas G dan air mineral). Kemudian digunakan variasi temperature BHCT Hasil yang didapat menunjukkan bahwa weighting agent berpengaruh dalam mempercepat waktu pengerasan semen. Dari perbandingan tiga additive tersebut, pada suhu yang sama pengaruh terhadap thickening time pada bubuk semen rata rata ketiga additive memiliki perubahan nilai yang berbeda, tapi tidak terlalu signifikan. Penambahan konsentrasi weighting agent pada suhu 30°C menurunkan waktu thickening time rata-rata 2 sampai 4 menit pada setiap additive, penurunan waktu thickening time pada suhu 50°C rata-rata nilainya 3 sampai 5 menit pada setiap additive, penurunan waktu thickening time ini dipengaruhi oleh suhu karena pada suhu 50°C terdapat waktu paling rendah yaitu, 90 menit.

Pengujian yang ketiga yaitu compressive strength, dilakukan dengan menggunakan alat Hydraulic Pressure dengan menambahkan tiga jenis weighting agent dengan variasi konsentrasi (2%,4%,6%,8%,10%) pada formulasi neat cement (semen kelas G dan air mineral). Kemudian ditambahkan variasi temperature BHCT (30°C, dan 50°C) dengan curing time selama 16 jam. Hasil pengujian menunjukkan bahwa, penambahan konsentrasi weighting agent pada suhu yang sama terdapat perubahan nilai compressive strength, cukup signifikan. Pada suhu 30°C kenaikan rata-rata nilai compressive strength sebesar 169 psi sampai 285 psi, namun akan turun pada penambahan konsentrasi 8% sebesar, 435 psi sampai 800 psi. Pada suhu 50°C sebesar 166 psi sampai 249 psi, dan akan turun pada penambahan konsentrasi 8% sebesar, 490 psi sampai 498 psi.

Peningkatan nilai compressive strength lebih disebabkan oleh perubahan temperature perendamannya. Pengujian pada temperature 50°C selama 16 jam, menghasilkan nilai rata-rata compressive strength terbesar. Pada temperature tersebut, rata-rata nilai

compressive strength lebih besar dibanding nilai rata-rata pengujian pada suhu 30°C .

### KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian laboratorium mengenai pengaruh penambahan konsentrasi retarder “Barite”, “Hematite”, dan “Mecomax” pada variasi temperatur BHCT terhadap Thickening Time, Compressive Strength dan Rheology bubuk semen, menghasilkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Penambahan additive weighting agent tidak begitu berpengaruh pada Yield Point cement slurry, perubahan paling besar ada pada additive Mecomax dan perubahan paling kecil ada pada additive Barite..
2. Penambahan konsentrasi weighting agent tidak banyak mempengaruhi nilai Plastic viscosity bubuk semen, perubahan terbesar hanya 7cp, pada Hematite..
3. Pada pengujian Thickening Time dengan temperature 50°C, Mecomax memberikan pengaruh terbesar, yang pada awalnya 118 menit menjadi 90 menit, menurunkan 28 menit dari Thickening Time awal.
4. Pada pengujian Thickening Time dengan temperature 30°C nilai Thickening lebih tinggi atau lebih lama mengeras nya dibandingkan dengan temperature 50°C
5. Pada pengujian Thickening Time dengan temperature 30°C, Mecomax memberikan pengaruh terbesar, yang pada awalnya 125 menit menjadi 107 menit, menurunkan 18 menit dari Thickening Time awal.
6. Pada pengujian Compressive Strength temperature 30°C kenaikan terbesar didapat pada additive Mecomax 6% yaitu sebesar 850 psi dari harga awal.
7. Pada pengujian Compressive Strength dengan temperature 50°C kenaikan harga terbesar didapat pada additive Mecomax 6% yaitu sebesar 896 psi dari harga awal.
8. Kenaikan nilai Compressive Strength lebih dipengaruhi oleh perbedaan BHCT, pada temperature 50°C, rata-rata nilai Compressive Strength lebih besar dibanding nilai rata-rata pengujian pada suhu 30°C dan lebih besar.

### DAFTAR SIMBOL

- A = Luas permukaan sampel, (inch<sup>2</sup>)  
 Bc = Konsistensi suspensi semen, (Uc)  
 $\theta_{300}$  = Dial Reading pada 300 rpm

- $\theta_{600}$  = Dial Reading pada 600 rpm  
 DS = Densitas suspensi semen, (ppg)  
 GC = Berat bubuk semen, (lbs)  
 GW = Berat air, (lbs)  
 GA = Berat aditif, (lbs)  
 K = Permeabilitas, (md)  
 L = Panjang sampel, (cm)  
 t = Waktu pengukuran, (menit)  
 Va = Volume aditif, (gallon)  
 Vbk = Volume bubuk semen, (gallon)  
 Vw = Volume air, (gallon)  
 Yp = Yield Point, (lb/ 100ft<sup>2</sup>)  
 $\mu$  = Viskositas, (cp)  
 $\mu_p$  = Plastic Viscosity (cp)  
 $\Delta P$  = Perbedaan tekanan, (psi)

### DAFTAR PUSTAKA

- American Petroleum Institute, API Specification 10A, Specification for Cement and Materials for Well Cementing, Washington, D.C. USA, 1995.
- Cementing Technology, Dowell Schlumberger., 1984
- Diktat Kuliah Teknik Pemboran II, Jurusan Teknik Perminyakan, Fakultas Teknologi Kebumihan dan Energi, Universitas Trisakti.
- Halliburton Energy Services, “Halliburton Cementing Technology Manual”, Halliburton Co. Duncan, Oklahoma. USA, 1993.
- Nelson E.B., “Well Cementing”, Schlumberger Educational Series, Houston-Texas, 1990.
- Penuntun Praktikum Teknik Lumpur Pemboran, Laboratorium Teknik Pemboran dan Produksi, Jurusan Teknik Perminyakan, Jakarta, 2001.
- Santoso, Ade Ilham. 2010. Penelitian Mengenai Pengaruh Penambahan Konsentrasi Retarder “CT” Pada Variasi Temperatur (BHCT) Terhadap Thickening Time, Compressive Strength, dan Rheology Bubur Semen.
- Specification for Material And Testing For Oil Well Cement, API Specification 10. Fifth Edition, 1990.

[www.cement.org/cement-concrete-basics/concrete-materials/cements](http://www.cement.org/cement-concrete-basics/concrete-materials/cements)

[www.halliburton.com/en-US/ps/cementing/materials-chemicals-and-additives.page?node-id=hfqelabf](http://www.halliburton.com/en-US/ps/cementing/materials-chemicals-and-additives.page?node-id=hfqelabf)