

# Pengembangan Formulasi *Expanding Agent* Material Semen Pengeboran dengan Memanfaatkan Dolomit Alami

Oleh : Budi Saroyo<sup>1)</sup>, Isa Soeyatmo<sup>2)</sup>, dan Supriyadi<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Pengkaji Teknologi, <sup>2)</sup>Perekayasa Muda, pada Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi "LEMIGAS"  
Jl. Ciledug Raya Kav. 109, Cipulir, Kebayoran Lama, Jakarta Selatan 12230

Tromol Pos : 6022/KBYB-Jakarta 12120, Telepon : 62-21-7394422, Faksimile : 62-21-7246150

Teregistrasi I Tanggal 5 Maret 2010; Diterima setelah perbaikan tanggal 23 Juni 2010

Disetujui terbit tanggal: 31 Agustus 2010

## S A R I

Masalah penyekatan zona yang tidak sempurna sering terjadi dan sangat mempengaruhi produksi suatu sumur. Masalah yang sering dijumpai pada suatu penyemenan adalah kurang bagusnya kekuatan dan daya ikat semen, terutama dalam menahan tekanan dan beban. Pada sumur-sumur yang bertemperatur dan bertekanan tinggi diperlukan suatu campuran semen yang dapat terus bertahan selama masa operasi produksi berlangsung. Dengan melakukan penyekatan yang baik maka diharapkan dapat diperoleh produksi sumur yang optimal.

Pengaruh pemanfaatan Magnesium Oksida (MgO) sebagai bahan aditif *expanding agent* dengan variasi penambahan komposisi, temperatur, dan waktu pengkondisian terhadap semen kelas G (*Oil Well Cement*), adalah sifat kimia aditif dan sifat fisik bubuk semen, terutama kuat tekan, daya ikat semen serta permeabilitas.

Sasaran utama penelitian ini adalah memanfaatkan batuan dolomit lokal yang merupakan sumber daya alam yang banyak terdapat di Indonesia sebagai bahan aditif *expanding agent* pada semen pengeboran. Tujuannya adalah dapat memecahkan masalah penanganan penyekatan lubang sumur yang kurang bagus.

Metodologi yang digunakan adalah uji laboratorium mengacu prosedur yang dipersyaratkan oleh API Spec. 10 (*Specification for Materials and Testing for Well Cements*) dan SNI-BSN.

**Kata kunci:** *expanding agent*, kuat tekan, daya ikat, dolomit

## ABSTRACT

*Insulation problems of imperfect zones often occur and greatly affect the production of a well. A common problem in a good cementation is less binding power and cement, especially in holding the pressure and burden. The existence of wells that temperature and high pressure needs a mixture of cement that can continue to survive during the period of production operations take place. By doing a good insulation it is expected that the optimum production wells can be obtained.*

*The influence of the use of Magnesium Oxide (MgO) as additives an expanding agent with the addition of variations of composition, temperature and conditioning time on the class G cement (Oil Well Cement), among others chemical additives and physical properties of cement slurry, particularly a compressive strength, shear bond strength and the permeability of cement.*

*The main target is utilizing local dolomite rocks which are natural resources which are common in Indonesia, which are used as additives in expanding agent drilling cement. The goal is to solve the problem of handling insulation hole wells that are less good.*

*The methodology used is based on laboratory test procedures required by the API Spec. 10 (Specification for Material and Testing for Well Cement) and SNI-BSN.*

**Key words:** *expanding agent, compressive strength, shear bond strength, dolomite*

## I. PENDAHULUAN

Telah banyak upaya yang dilakukan untuk dapat memperbaiki sistem penyekatan dari suspensi semen. Di antaranya dengan pemakaian semen mengembang dengan penambahan zat aditif tertentu guna memperbaiki nilai *shear bond strength* suspensi semen yang telah mengeras. Namun demikian, usaha peningkatan nilai *shear bond strength* ternyata disisi lain akan menyebabkan penurunan nilai *compressive strength* semen tersebut.

Berdasarkan latar belakang di atas maka diidentifikasi masalah, perlunya komposisi semen yang tepat dalam menghadapi kondisi khusus penyemenan, sampai seberapa jauh proses penyemenan dapat disempurnakan memanfaatkan perbaikan penyekatan suspensinya pada sistem semen mengembang dan adakah zat aditif lain yang dapat diterapkan dalam usaha memperbaiki sistem penyekatan semen, dengan menaikkan *shear bond strength* tanpa menurunkan nilai *compressive strength*nya.

Penelitian ini dimaksudkan untuk mendapatkan kualitas penyekatan semen yang baik untuk suspensi semen yang tepat dengan pemakaian *expanding agent* yang dapat menaikkan *shear bond strength* tanpa menurunkan harga *compressive strength*nya sampai melewati batas yang perlu dikhawatirkan.

Hasil penelitian ini adalah, suatu komposisi semen alternatif berbasis sistem semen mengembang, dan pengaruh penambahan zat aditif berbasis oksida, dalam hal ini MgO bakar, terhadap sistem penyekatan semen pada tekanan dan temperatur tinggi. Hasil ini diharapkan menjadi solusi alternatif dalam proses penyemenan sumur minyak, gas, dan panas bumi dalam dunia industri perminyakan.

## II. SISTEM SEMEN MENGEMBANG

Penyemenan adalah suatu proses mendorong sejumlah suspensi semen ke dalam *casing*, kemudian melalui bagian bawah sepatu *casing* mengalir naik ke annulus antara *casing* dan formasi. Kemudian suspensi semen ini akan mengeras sehingga akan mengikat antara *casing* dengan formasi (dinding lubang bor) atau *casing* dengan *casing*.

Tujuan utama dari operasi penyemenan adalah sebagai pengisolasi zona-zona pada sumur pemboran untuk mencegah masuknya atau merembesnya fluida formasi yang tidak diinginkan kedalam sumur pengeboran sekaligus sebagai material penyekat antara *casing* dan formasi.

### A. Semen Mengembang (Expanding Cement)

Selama bertahun-tahun industri kontruksi berusaha keras menghadapi masalah penyusutan pada semen yang telah mengering. Semen mengalami penyusutan volume setelah mengering melewati waktu *setting*-nya. Penurunan ini akan menyebabkan rekahan pada semen saat terjadinya pengembangan *tensile strength*. Semen mengembang dibuat untuk menghadapi masalah penyusutan volume dengan membuat semen mengembang selama periode kritik ini.

Secara kimia semen mengembang hampir sama dengan semen portland biasa, kecuali adanya kandungan material *anhydrous kalsium sulfoaluminat* ( $4\text{CaO}, 3\text{Al}_2\text{O}_3, \text{SO}_3$ ). Sehingga keuntungan dari adanya semen mengembang akan menghasilkan ikatan yang lebih baik antara *casing* dengan semen dan semen dengan formasi.

Sistem semen yang dapat mengembang setelah waktu *setting* disimpulkan dapat mengurangi munculnya mikroannulus dan meningkatkan hasil penyemenan primer. Peningkatan penyekatan dihasilkan dari adanya ketahanan mekanik atau pengetatan semen terhadap pipa dan formasi. Ikatan yang baik dapat diperoleh bahkan pada saat lumpur masih berada di *casing* atau permukaan formasi.

### B. Expanding Agent

Pengembangan suatu semen, yaitu penambahan ukuran bagian luar semen, menurut Danjushevsky (1980) dapat terjadi melalui beberapa proses:

- Pada saat suspensi semen masih mampu mengalir, yang diakibatkan efek kontraksi negatif secara kimiawi, artinya melalui pembentukan hasil hidrat lain yang akan menambah volume, seperti terlepasnya garam-garam saat kristalisasi pada temperatur tinggi.
- Pada saat semen mengeras melalui kristal asing seperti CaO, MgO dan  $\text{CaSO}_4$  dalam matriks semen.
- Masuknya fluida formasi ke dalam kolom semen.

Yang dimaksud dengan *expanding agent* adalah aditif yang dapat mengakibatkan proses pengembangan matriks semen akibat adanya pengembangan kristal asing yang dikandungnya. Reaksi pengembangan yang terjadi dapat diatur dengan cara memilih bahan, mengatur temperatur bakar, dan tingkat kehalusan material yang digunakan.

Pengaturan saat pengembangan dimulai sangatlah penting untuk diperhatikan, karena sangat menentukan keberhasilan peningkatan *shear bond strength*.

Bila pengembangan matriks semen terjadi pada saat suspensi semen mulai mengeras, maka kemungkinan diperoleh pengembangan matriks yang nyata, bila memenuhi beberapa syarat sebagai berikut:

- Peningkatan tekanan kristal asing tidak terlalu besar atau tidak lebih besar dari kekuatan matriks itu sendiri, supaya tidak terjadi retakan-retakan.
- Tegangan yang dihasilkan dari kumpulan tekanan kristal asing tersebut tersebar ke segala arah, tidak hanya pada satu arah saja.
- Proses pengerasan semen belum selesai atau masih bisa membuat ikatan antar-butir, sehingga memungkinkan pengikatan kembali antar-butir semen dalam matriks, bila ada ikatan yang terlepas oleh dorongan tekanan kristal asing tersebut.

Bila pengembangan terjadi terlalu cepat, *shear bond strength* yang meningkat tidak akan terjadi. Sebaliknya bila terlalu lambat dibandingkan dengan kecepatan pengerasan semen akan memungkinkan terjadi retakan-retakan.

Dalam kasus suspensi semen mengisi lubang annulus sumur pengeboran yang volumenya terbatas, maka tekanan-tekanan hasil pengembangan matriks berubah menjadi peningkatan *shear bond strength* antara semen dan *casing* dan semen dengan dinding lubang. Akibat lain adalah mengecilnya pori-pori matriks yang menjadi penyebab menurunnya permeabilitas semen mengeras.

Penggunaan semen mengembang pada industri perminyakan saat ini menurun. Beberapa masalah berkenaan dengan penggunaan semen mengembang

(Beirute, dkk., SPE 18027) adalah:

- Keterbatasan temperatur, semen mengembang sangat sulit untuk diperlambat. *Retarder* konvensional (lignosulfonat) tidak bekerja dengan baik pada semen jenis ini. Peningkatan temperatur juga akan menurunkan pengembangan.
- Sedikitnya pengetahuan akan kinerja semen jenis mengembang ini pada kondisi sebenarnya dilapangan.

### III. METODOLOGI PENELITIAN

Pengujian laboratorium terhadap suatu komposisi semen sangat diperlukan untuk memperoleh kualitas semen yang diharapkan. Persiapan pengujian di laboratorium meliputi beberapa tahapan kerja, yaitu:

- Persiapan peralatan
- Prosedur pengujian
- Persiapan material semen dan aditif
- Pembuatan suspensi semen
- Pengkondisian suspensi semen
- Pengujian kualitas semen.

Persiapan peralatan dan material merupakan langkah awal yang harus dikerjakan sebelum dimulainya suatu penelitian atau riset.

Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini, meliputi:

- Pengujian komposisi kimia material aditif
- Pengujian *free water, fluid loss* dan *thickening time* untuk suspensi semen
- Pengujian *compressive strength, shear bond strength* dan permeabilitas untuk semen mengeras.



Gambar 1  
Material *Slurry* Semen (Semen G Class - Silika Flour - MgO Murni - Dolomit)

### A. Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian, seperti pada Gambar 1, antara lain:

- Semen klasifikasi API kelas G produksi PT. Indocement Tunggal Prakarsa
- Bubuk aditif Silika Flour produksi PT. Graha Nusa Trada
- Bubuk aditif MgO murni dan batuan dolomit alam yang telah dibakar pada temperatur 1000 OC selama 6 jam, kemudian digiling dengan ukuran kehalusan 325 mesh.
- *Aquadest* yang digunakan sebagai fluida pencampur dan pengkondisian.

### B. Peralatan Penelitian

Adapun peralatan yang digunakan pada penelitian meliputi:

- Timbangan elektrik
- *Mixer* dengan dua kecepatan tipe *propeller*
- *HHP curing chamber*
- *API Consistometer*
- *HHP Consistometer*
- *API Compressive strength tester*
- *HHP Fluid loss test*

### C. Prosedur Pengujian dan Persiapan Aditif

Pembuatan suspensi semen dimulai dengan persiapan peralatan dan material semen, adapun

spesifikasi peralatan dan prosedur pengujian dilakukan berdasarkan API Spec. 10. Sedangkan persiapan aditif untuk bahan MgO murni dan batuan *dolomite* alam dilakukan dengan membakar sesuai temperatur yang diinginkan dengan lama waktu pembakaran tertentu (dalam penelitian ini, selama 6 jam), terhitung sejak temperatur yang diinginkan tersebut tercapai. Kemudian hasil pembakaran tersebut digiling hingga mencapai kehalusan yang dikehendaki.

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Pengujian Kualitas Magnesium Oksida (MgO)

Pengujian kualitas dari magnesium oksida yang berasal dari industri dan batuan dolomit perlu dilakukan, dengan tujuan untuk mengetahui sejauh mana kualitas dari magnesium oksida tersebut, terutama kandungan oksida-oksida yang ada akan berpengaruh terhadap proses hidrasi semen.

#### 1. Pengujian Kimiawi

Pada Tabel 1 ditunjukkan hasil dari pengujian komposisi kimia untuk batuan dolomit dan MgO murni. Pada pengujian kimiawi unsur utamanya yang paling besar kandungannya adalah Magnesium Oksida (MgO) dan Calcium Oksida (CaO) dan hampir semuanya merupakan unsur yang dominan dalam kandungan material tersebut.

Pembakaran pada material mempunyai tujuan

Tabel 1  
Pengujian Komposisi Kimia untuk Material *Expanding Agent*

No.	Oksida	Dolomit		MgO Murni		Satuan
		Murni	Bakar 6 Jam	Murni	Bakar 6 Jam	
1	Magnesium Oxide (MgO)	0.00	51.24	88.00	92.54	%wt
2	Calcium Oxide (CaO)	0.00	32.52	0.00	2.55	%wt
3	Sodium Oxide (Na <sub>2</sub> O)	0.33	0.30	1.03	1.05	%wt
4	Kalium Oxide (K <sub>2</sub> O)	0.20	0.57	0.48	0.95	%wt
5	Iron Trioxide (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1.75	5.44	0.47	1.03	%wt
6	Aluminium Trioxide (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0.01	0.06	0.13	0.12	%wt
7	Barium Sulphate (BaSO <sub>4</sub> )	0.36	0.52	1.00	1.28	%wt
8	Magnesium Carbonat (MgCO <sub>3</sub> )	29.26	0.00	0.00	0.00	%wt
9	Calcium Carbonat (CaCO <sub>3</sub> )	17.74	0.00	3.00	0.00	%wt
10	Loss of Ignition	0.00	17.54	0.00	18.25	%wt

yaitu untuk memurnikan kandungan dari oksida-oksida yang ada, terutama untuk meningkatkan kemurnian kandungan magnesium oksida. Pada penelitian ini pembakaran dilakukan pada temperatur 1000OC selama 6 jam. Untuk batuan dolomit alam peningkatan kemurnian bisa mencapai 75%, sedangkan untuk magnesium oksida industri bisa bertambah 5%.

Sedangkan untuk pengujian pengeringan dan pemanasan metode yang diujikan untuk temperatur tinggi yaitu *loss of ignition*. Metode ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana kandungan unsur-unsur yang ada dalam material mengalami proses kehilangan atau berkurang akibat bereaksi dengan udara karena adanya perubahan temperatur. Untuk batuan dolomit alam dan magnesium oksida industri nilainya hampir sama 17.50% dan 18.25%.

## 2. Pengujian Fisikal

Pada pengujian ukuran butiran magnesium oksida secara kering menggunakan saringan standar amerika berukuran 325 mesh atau 45 mikron (*screen analysis*).

Dari hasil ini untuk magnesium oksida murni dari industri berkisar 95% lolos dari saringan. Sedangkan untuk dolomit alam kita buat ukuran butiran yang berukuran 325 mesh yang menyamai ukuran semen pengeboran, sebelum dilakukan pembakaran maupun sesudah dilakukan pembakaran. Karena dengan ukuran butiran yang sama diharapkan reaksi yang terjadi bisa seragam, sehingga akan menghasilkan

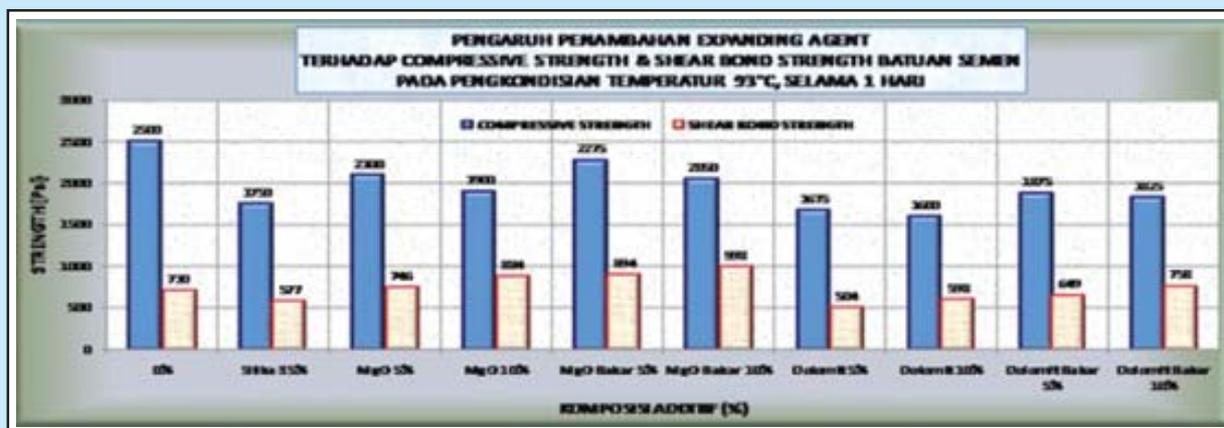
kelakuan yang lebih baik. Begitu pula dengan bahan aditif bubuk lainya yaitu bubuk silika.

## 3. Pengujian Kelakuan Khusus

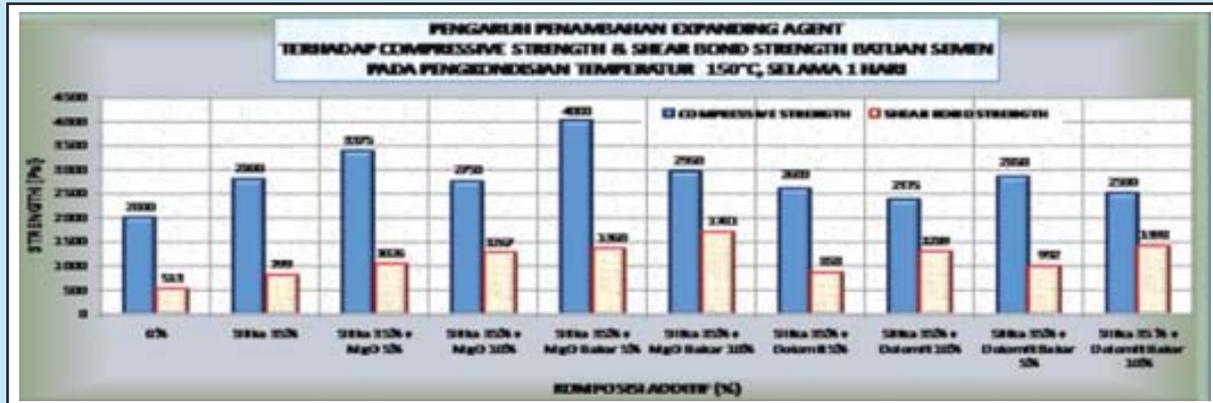
Pengujian ini meliputi pengujian utama yaitu kuat tekan (*compressive strength*), daya ikat (*shear bond strength*), dan permeabilitas. Pengujian dilakukan dengan semen kelas G (semen dasar untuk penyemenan sumur migas) produk PT. Indocement sebagai standar pengontrolan dalam pengujian yang *schedule* dan prosedur mengacu pada API Spec. 10. Dalam pengujian ini magnesium oksida dan semen kelas G dicampur dengan perbandingan komposisi yang optimum (5-10% BWOC) berdasarkan dari berat semen, sedangkan untuk penambahan *silika flour* kita ambil standar umum yang dipakai sebesar 35% BWOC, jumlah air yang dipakai adalah disesuaikan dengan densitas *slurry* yang dicoba di laboratorium yaitu 15 ppg.

## B. Pengujian Formulasi Semen dengan Expanding Agent

Pada pengujian ini metodenya yaitu dengan menambahkan *expanding agent* ke dalam semen dasar dengan variasi komposisi jumlah berat yaitu 5% dan 10% BWOC, penambahan komposisi *expanding agent* diujikan untuk mencari kelakuan semen terutama pada kondisi temperatur dan tekanan tinggi. Dari pengujian yang telah dilakukan di laboratorium diperoleh hasil pengujian *compressive strength*, *shear bond strength*, *permeabilitas*, *free water content*, *fluid loss* dan *thickening time*.



Gambar 2  
Grafik *Strength* Semen vs Komposisi Aditif *Expanding Agent* pada Pengkondisian Temperatur 93°C selama 1 Hari



Gambar 3  
Grafik *Strength* Semen vs Komposisi Aditif *Expanding Agent* pada Pengkondisian Temperatur 150°C selama 1 Hari



Gambar 4  
Grafik *Strength* Semen vs Komposisi Aditif *Expanding Agent* pada Pengkondisian Temperatur 200°C selama 1 Hari

1. Pengujian *Compressive Strength*

Fenomena yang terjadi pada semen dasar dan semen *silica flour* sebagai pembanding kelakuan dan kinerja dari semen mengembang yang digunakan terlihat bahwa semakin bertambah temperatur *compressive strength* semen dasar semakin rendah dan berbeda dengan semen *silica flour* di mana semakin tinggi temperatur semakin tinggi harga *compressive strength*, hal ini disebabkan oleh terbentuknya mineral  $\alpha\text{-C}_2\text{SH}$  gel yang lebih padat sehingga mengakibatkan volume suspensi semen menyusut, maka terjadi perubahan pada semen dasar (lemah dan *porous*). Sedangkan adanya penambahan *silica*

*flour* pada semen dasar memberikan kestabilan pada semen akibat terbentuknya mineral Tobermorite pada kondisi temperatur tinggi dan permeabilitas yang rendah. Tetapi penambahan *silica flour* dan bahan *expanding agent* pada temperatur di bawah 120°C belum menunjukkan kinerja yang berarti, bahkan harga *compressive strength* di bawah semen dasar. Pada Gambar 2 bisa dikatakan bahwa penambahan bahan *expanding agent* belum efektif. Bahan tersebut efektif mulai bekerja pada temperatur 150°C dan 200°C, seperti pada Gambar 3 dan 4.

Untuk semen mengembang pada penambahan aditif MgO murni dan dolomit, dengan bertambahnya temperatur memberikan peningkatan pada besar

harga *compressive strength* tersebut tetapi kenaikan yang signifikan terjadi pada penambahan bahan aditif 5%, hal ini diakibatkan masih kecilnya proses pengembangan yang terjadi pada konsentrasi tersebut sehingga memberikan tingkat kerapatan yang lebih baik dibanding dari penambahan aditif 10%.

Pengaruh penambahan bahan *silica flour* dan *expanding agent* bisa dilihat pada Gambar 3 dan 4, kenaikan harga *compressive strength* sudah bisa dilihat, dan fenomena yang ada menunjukkan bahwa harga *compressive strength* akibat dari penambahan bahan tersebut mulai berfungsi dalam kondisi temperatur yang lebih tinggi, bahkan kenaikan bisa mencapai 145 %.

Begitu pula yang terjadi pada penambahan aditif MgO murni 1000°C dan dolomit bakar 1000°C dengan bertambahnya temperatur akan mengalami kenaikan harga *compressive strength*-nya, tetapi untuk bahan aditif MgO murni ini hasil dan *performance*-nya lebih baik dari bahan dolomit dikarenakan tingkat kandungan dan kemurnian yang lebih bagus dari bahan aditif tersebut.

Selain itu, pengaruh adanya *silica flour* pada suspensi semen akan memberikan tingkat ketahanan dan kestabilan yang lebih baik pada temperatur tinggi.

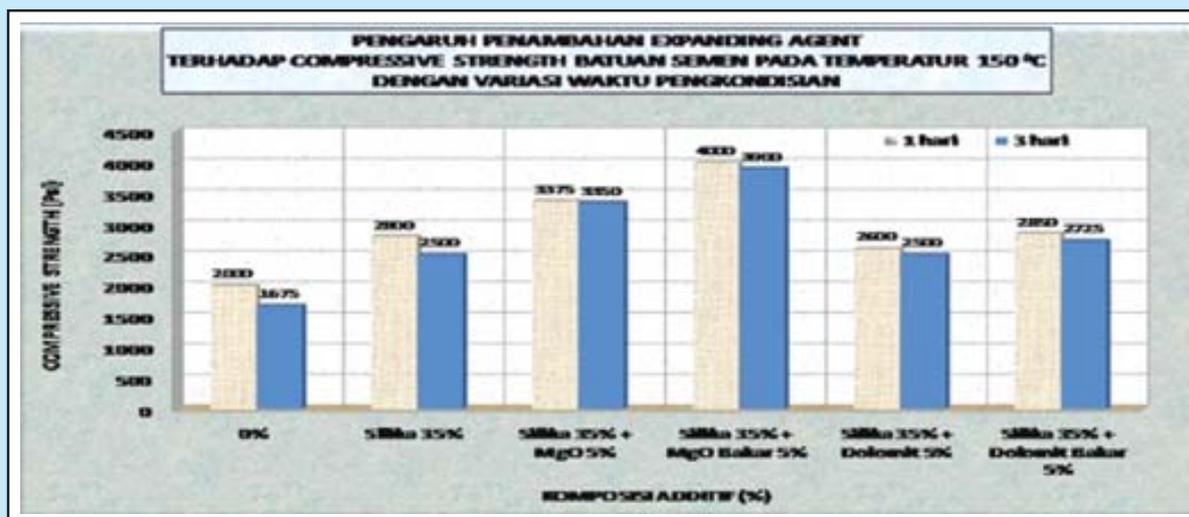
Komposisi optimum diperoleh pada penambahan 5%, hal ini disebabkan kandungan MgO dengan

penambahan tersebut memberikan pengembangan volume yang maksimal sehingga memberikan tambahan efek tekanan terhadap *strength* semen tersebut dalam menahan gaya horisontal di dalam kemampuan suspensi semen pada saat setting lebih baik lagi.

Perbandingan pengukuran *compressive strength* selama 1 hari dan 3 hari pengkondisian *curing* juga dilakukan, untuk melihat sejauh mana perkembangan batuan semen setelah dikondisikan pada temperatur tinggi, pada penelitian ini diuji pada temperatur 150°C, konsentrasi aditif yang ditambahkan 5%.

Dari hasil pengujian terlihat bahwa pada umumnya dengan bertambahnya waktu pengkondisian semen dasar, semen *silica flour* dan semen dengan *expanding agent* harga *compressive strength*-nya mengalami penurunan, tetapi untuk pengkondisian 1 hari harga *compressive strength* dengan penambahan MgO maupun dolomit, daya kuat tekannya lebih besar dari semen dasar maupun semen silika yaitu berkisar antara 30% - 100%.

Sedangkan untuk pengujian selama 3 hari semen dasar mengalami penurunan harga *compressive strength*-nya sekitar 19%, tetapi untuk semen *silica flour* dan semen *expanding compressive strength* yang dimiliki lebih besar, terutama dengan bahan yang dibakar, kenaikan bisa mencapai 130% dibandingkan



Gambar 5  
 Grafik Perbandingan *Compressive Strength* Semen vs Komposisi *Expanding Agent* pada Pengkondisian Temperatur 150°C selama 1 dan 3 Hari

semen tanpa *expanding agent*. Kondisi tersebut bisa dilihat pada Gambar 5.

## 2. Pengujian *Shear Bond Strength*

Fenomena yang terjadi pada semen dasar dan semen *silica flour* sebagai pembanding kelakuan dan kinerja dari semen mengembang yang digunakan terlihat bahwa semakin bertambah temperatur *shear bond strength* semen dasar semakin rendah dan berbeda dengan semen *silica flour* di mana semakin tinggi temperatur semakin tinggi harga *shear bond strength*.

Pada semen mengembang dengan penambahan MgO murni dan dolomit diharapkan mampu memberikan nilai *shear bond strength* yang besar tanpa mengurangi harga *compressive strength* yang sesuai dengan standar API. Kondisi tersebut di atas berhasil diperoleh dalam penelitian ini, di mana untuk penambahan aditif MgO dan dolomit murni maupun bakar memperlihatkan adanya peningkatan harga *shear bond strength* dengan bertambahnya temperatur seiring dengan peningkatan konsentrasi penambahan aditif tersebut.

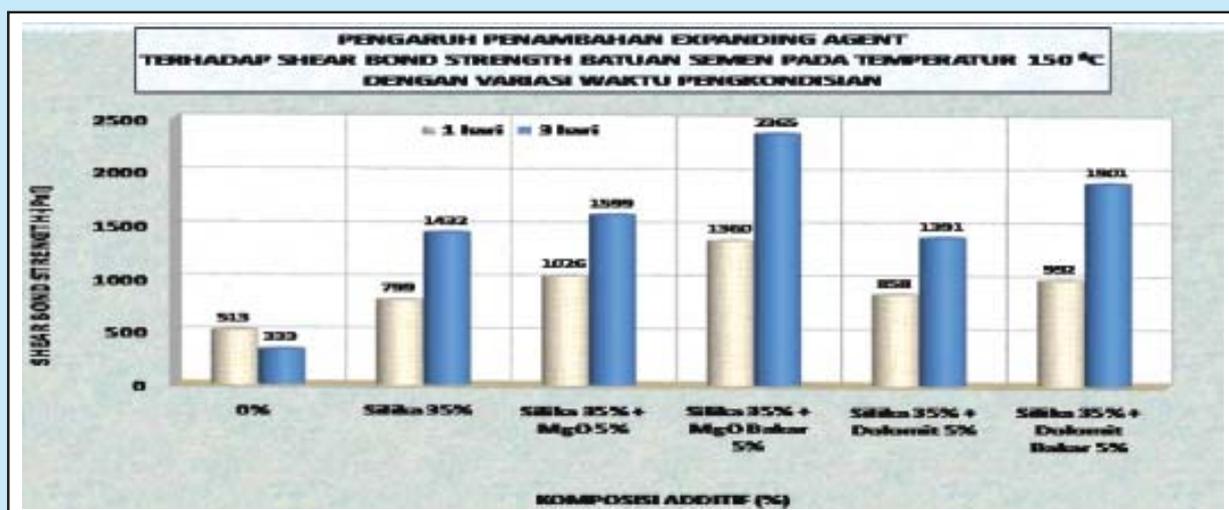
Harga *shear bond strength* yang signifikan terjadi pada konsentrasi 10% penambahan, dikarenakan proses pengembangan semen mulai optimal terjadi sedangkan untuk konsentrasi 5% harga *shear bond strength*-nya tidak berbeda begitu jauh. Tetapi harga *shear bond strength* pada bahan yang

dimurnikan menunjukkan hasil yang lebih baik pada pembakaran 1000 °C selama 6 jam.

Pengaruh penambahan bahan *silica flour* dan *expanding agent* bisa dilihat pada Gambar 3 dan 4, kenaikan harga *shear bond strength* sudah bisa dilihat, dan fenomena yang ada menunjukkan bahwa harga *shear bond strength* akibat dari penambahan bahan tersebut mulai berfungsi dalam kondisi temperatur yang lebih tinggi, bahkan kenaikan bisa mencapai 1500 %.

Untuk bahan dolomit baik alami maupun dibakar 1000 °C selama 6 jam kurang memberikan kenaikan harga *shear bond strength* yang signifikan, disebabkan oleh tingkat kemurnian bahan tersebut sebelum maupun sesudah pembakaran lebih rendah dari bahan MgO murni, walaupun memberikan kecenderungan yang sama seperti MgO murni, di mana dengan bertambahnya temperatur akan memberikan kenaikan harga *shear bond strength* tersebut.

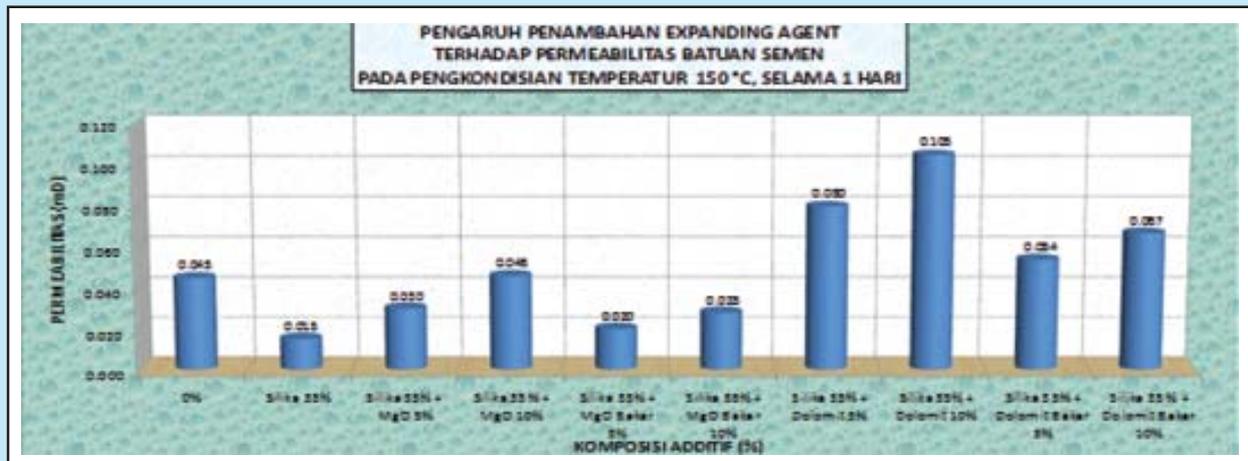
Komposisi optimum diperoleh pada penambahan 10%, hal ini disebabkan kandungan MgO dengan penambahan tersebut memberikan pengembangan volume yang maksimal sehingga memberikan tambahan efek tekanan terhadap *bonding* semen tersebut dalam menahan gaya vertikal di dalam kemampuan rekat suspensi semen pada saat *setting* lebih baik lagi.



Gambar 6  
 Grafik Perbandingan *Shear Bond Strength* Semen vs Komposisi *Expanding Agent* pada Pengkondisian Temperatur 150°C Selama 1 dan 3 Hari



Gambar 7  
 Grafik Permeabilitas Batuan Semen vs Komposisi *Expanding Agent* pada Pengkondisian Temperatur 120°C selama 1 Hari



Gambar 8  
 Grafik Permeabilitas Batuan Semen vs Komposisi *Expanding Agent* pada Pengkondisian Temperatur 150°C selama 1 Hari

Perbandingan pengukuran *shear bond strength* selama 1 hari dan 3 hari pengkondisian curing juga dilakukan, untuk melihat sejauh mana perkembangan batuan semen setelah dikondisikan pada temperatur tinggi, pada penelitian ini diuji pada temperatur 150°C, konsentrasi aditif yang ditambahkan 5%.

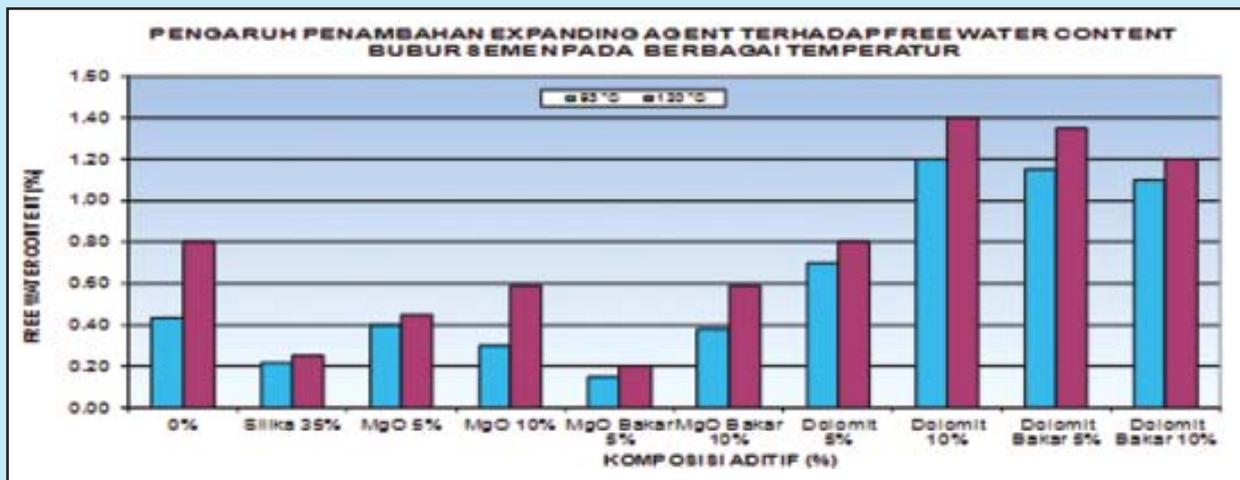
Dari hasil pengujian terlihat bahwa semen dasar dan semen *silica flour* harga *shear bond strength*-nya untuk pengkondisian 1 hari di bawah harga dengan

penambahan MgO maupun dolomit, untuk semen dasar daya kuat ikatnya berkisar 65% - 165% dari semen yang ditambah dengan *aditif expanding*.

Sedangkan untuk pengujian selama 3 hari semen dasar mengalami penurunan harga *shear bond strength*-nya sekitar 35%, tetapi untuk semen *silica flour* dan semen *expanding* mengalami kenaikan yang signifikan, terutama dengan bahan yang dibakar, kenaikan bisa mencapai 600% dibandingkan dengan



Gambar 9  
 Grafik Permeabilitas Batuan Semen vs Komposisi *Expanding Agent* pada Pengkondisian Temperatur 200°C selama 1 Hari



Gambar 10  
 Pengujian Free Water Content Material *Expanding Agent*

semen dasar tanpa *expanding agent*. Kondisi tersebut bisa dilihat pada Gambar 6.

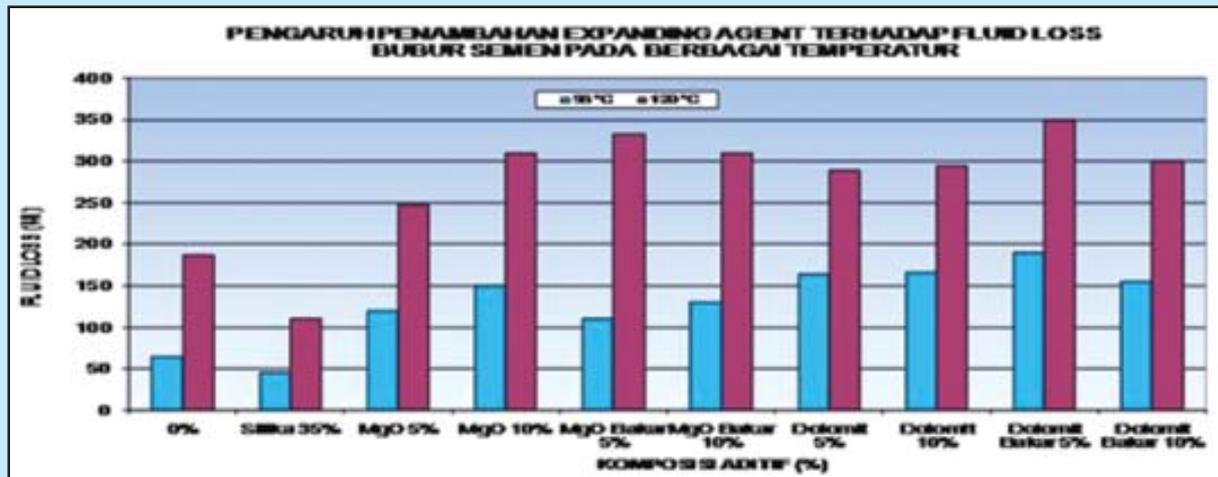
### 3. Pengujian Permeabilitas

Dalam penelitian ini juga diuji pengaruh penggunaan bahan *expanding agent* terhadap permeabilitas batuan semen, pengujian dilakukan untuk temperatur 120°C, 150°C, dan 200°C.

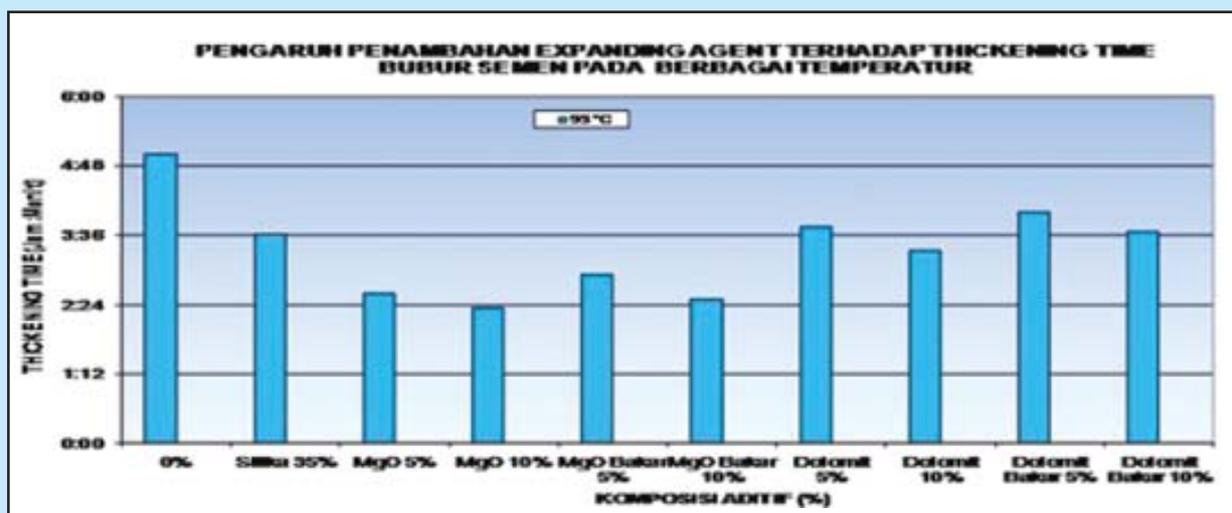
Kenaikan temperatur pengkondisian dari 120°C hingga 200°C dengan penambahan MgO murni rela-

tive memberikan penurunan hasil permeabilitas dari batuan semen, sedangkan pada temperatur pengkondisian 200°C permeabilitas semen mengalami penurunan drastis, dibandingkan dengan semen tanpa bahan *expanding agent*.

Hal ini disebabkan naiknya tingkat pengembangan MgO untuk temperatur tinggi sehingga volume yang terjadi sangat besar yang akhirnya dapat menurunkan tingkat kerapatan butiran secara mikro. Kondisi



Gambar 11  
 Pengujian Fluid Loss Material *Expanding Agent*



Gambar 12  
 Pengujian *Thickening Time* Material *Expanding Agent*

tersebut dapat dilihat pada Gambar 7, Gambar 8, dan Gambar 9.

Penurunan permeabilitas diharapkan bisa mencapai harga yang sekecil mungkin, sehingga tingkat keterlulusan terhadap fluida bisa diminimalisir.

#### 4. Pengujian *Free Water Content*

Untuk mengetahui pengaruh penambahan bahan *expanding agent* setelah dicampurkan kedalam suspensi semen, pengujian dilaboratorium untuk *free water content* bisa dilihat pada Gambar 10.

Dari pengujian dapat dibahas dengan penambahan bahan *expanding agent* MgO murni untuk temperatur 93°C maupun 120°C air yang terbebaskan cenderung berkurang, tetapi untuk bahan dari dolomit hasilnya lebih banyak, dikarenakan MgO murni lebih baik pengikatannya antara campuran bubuk padatnya dengan fasa cairannya, bisa dikatakan lebih solid dalam campurannya.

Kemurnian bahan juga berpengaruh dalam proses hidrasi semen yang mempunyai efek terhadap proses

penyerapan airnya, sehingga kantong-kantong air yang terjadi bisa menyebabkan semen porous dan permeabel bisa dikurangi.

### 5. Pengujian *Fluid Loss*

Untuk mengetahui pengaruh penambahan bahan *expanding agent* setelah dicampurkan kedalam suspensi semen, hasil yang diperoleh dalam pengujian di laboratorium untuk *fluid loss* bisa dilihat pada Gambar 11.

Dari pengujian dapat dibahas dengan penambahan bahan *expanding agent* MgO murni dan dolomite alam untuk temperatur pengujian 93°C maupun 120°C fluida yang lolos akibat pengaruh temperatur dan tekanan yang tinggi yaitu sebesar 1000 psi, cenderung bertambah, terutama untuk temperatur 120°C, dikarenakan MgO murni lebih *absorb* dalam proses hidrasinya sehingga tidak bisa bekerja dengan baik pengikatannya antara campuran bubuk padatnya dengan fase cairannya, bisa dikatakan pemisahan dalam campurannya.

Untuk fenomena ini, untuk mengatasi proses kehilangan fluida yang berlebihan bisa ditambahkan suatu bahan dispersant yang berfungsi untuk mengencerkan *slurry* atau bubur semen dan juga penambahan komposisi aditif *fluid loss*-nya yang berfungsi mengikat padatan dan cairan yang saling bereaksi, sehingga diharapkan air tapisan bisa dikurangi akibat pengaruh tekanan dan temperatur yang tinggi.

### 6. Pengujian *Thickening Time*

Untuk mengetahui pengaruh penambahan bahan *expanding agent* setelah dicampurkan ke dalam suspensi semen, hasil yang diperoleh dalam pengujian di laboratorium untuk *thickening time* bisa dilihat pada Gambar 12.

Fenomena yang terjadi diperlihatkan pada penambahan bahan *expanding agent* ke dalam bubur semen, dari pengujian waktu pengejalan semen dengan penambahan MgO murni dan dolomit alam untuk temperatur pengujian 93°C, diperoleh waktu yang diperlukan untuk pengejalan bubur semen semakin pendek, hal ini dikarenakan MgO murni *specific gravity* bahannya lebih besar sekitar 3.50 dibandingkan dengan dolomite dan semen yaitu 3.15.

Sehingga lebih *absorb* dalam proses penyerapan dan hidrasinya sehingga pengikatan campuran antara bubuk padatnya dengan fase cairannya lebih cepat dalam proses pengejalannya.

Dari pengujian di laboratorium diperoleh waktu untuk MgO murni komposisi 10% separuh dari waktu semen dasar. Dalam kasus fenomena ini, untuk mengatasi proses pengejalan yang pendek bisa ditambahkan bahan *retarder* yang berfungsi untuk memperpanjang waktu yang diperlukan oleh bubur semen. Dan juga penambahan aditif dispersant yang berfungsi mengencerkan *slurry*, terutama untuk temperatur tinggi sehingga diharapkan viskositas bisa dikurangi akibat pengaruh *aging*.

Hal tersebut menunjukkan bahwa dengan bertambahnya waktu pembakaran belum tentu memberikan hasil yang lebih baik. Kemungkinan yang terjadi akibat lamanya waktu pembakaran akan menyebabkan kemurnian dari MgO bertambah sehingga kecepatan mengembang lebih cepat dibandingkan dengan kecepatan hidrasi suspensi semen.

## V. KESIMPULAN

1. Komposisi penambahan yang optimum untuk *expanding agent* dalam formulasi bubur semen adalah sebesar 5%.
2. *Compressive strength* cenderung menurun apabila persentase komposisi *expanding agent* bertambah dalam suspensi semen, tetapi akan menaikkan harga *shear bond strength*.
3. Pembakaran yang dikenakan pada bahan *expanding additive* akan memberikan kemurnian yang lebih baik sehingga diharapkan mampu memberikan hasil yang lebih baik terhadap nilai *compressive* dan *shear bond strength* sesuai dengan batasan minimum API Spec.
4. Penambahan aditif bakar dapat meningkatkan *compressive strength* dan *shear bond strength* yang lebih baik dibandingkan dengan tanpa dibakar.
5. Untuk temperatur hingga 120°C, penambahan aditif menurunkan harga *compressive strength*. Tetapi, pada temperatur 150°C sampai dengan 200°C menaikkan harga *compressive strength* dan *shear bond strength*.
6. Dolomit alami layak dipakai sebagai bahan *expanding agent* untuk temperatur sampai dengan 200 °C.

---

## KEPUSTAKAAN

1. American Petroleum Institute., 1984, "API Specification for Materials and Testing for Well Cements", Specification 10, Second Edition.
2. American Petroleum Institute., 2002, "API Specification for Cements and Materials for Well Cementing", Specification 10A, Twenty-third Edition.
3. Carter, L. G., Waggoner, H. F., and George C., 1966 "Expanding Cements for Primary Cementing", SPE Paper 1235.
4. Dowell Schlumberger., 1984, "Cementing Technology", Nova Communication Ltd, London.
5. Halliburton Company., 1993, "Cementing Technology Manual", Halliburton Energy Services.
6. H. Rabia., 1985, "Oil Well Drilling Engineering Principles and Practice", University of Newcastle Upon Tyne, Graham Trotman.
7. Root, R. L. and Calvert, D. G., 1971 "The Real Story of Cement Expansion", SPE Paper 3346.
8. Rubiandini, R. R., 1992 "Penanggulangan Khusus Penyemenan Sumur, Teknik Umum Penyemenan Minyak, Gas dan Panas Bumi (Bagian 1)", Journal Teknologi Minyak dan Gas Bumi, IATMI, No. 1.
9. Rubiandini, R. R., 1993 "Penanggulangan Khusus Penyemenan Sumur (Bagian 2): Problem Penyemenan dan Penanggulangannya Secara Konvensional", Journal Teknologi Minyak dan Gas Bumi, IATMI, No. 2.
10. Rubiandini, R. R., 1995 "Penanggulangan Khusus Penyemenan Sumur Pemboran: Expanding Cement yang Cocok untuk Meningkatkan Shear Strength pada Anullus Lubang Pemboran Gas", Journal Teknologi Minyak dan Gas Bumi, IATMI, No. 1.
11. Standar Nasional Indonesia., 1988, "Spesifikasi-Semen dan Material untuk Penyemenan Pemboran", Badan Standardisasi Nasional, Indonesia, SNI 13-3044-88.
12. Swayze, M. A., April 1954 "Effect of High Pressure and Temperature on Strength of Oil-Well Cement", International Petroleum Association, Oklahoma. ✓