

**KAJIAN LABORATORIUM PENGARUH PENAMBAHAN KONSENTRASI
“LIGNOSULFONAT”, “HALAD 22A” DAN “R-21LS” SEBAGAI RETARDER SEMEN
KELAS G, TERHADAP THICKENING TIME, COMPRESSIVE STRENGTH
DAN RHEOLOGY BUBUR SEMEN**

Arbeansyah Tegar Saputra Arif,
Trisakti University
Email: abie_saputra@yahoo.com

Abstrak

Operasi penyemenan merupakan suatu hal yang tidak dapat dipisahkan dari kegiatan eksploitasi minyak dan gas serta eksploitasi energi panas bumi. Operasi penyemenan terhadap suatu sumur minyak, gas bumi atau sumur panas bumi, diharapkan akan menghasilkan suatu kondisi dimana casing yang disemen terhadap lubang bor dapat berfungsi sebagaimana yang diharapkan. Proses penyemenan sendiri dapat dibagi menjadi beberapa tahap, dari proses pembuatan slurry semen, proses pemompaan, hingga proses menunggu semen mengering atau disebut juga proses *waiting on cement* (WOC). Salah satu parameter yang perlu diperhatikan dalam proses penyemenan adalah lamanya waktu semen masih dapat dipompakan atau *thickening time*, dimana *thickening time* ini tidak boleh melebihi lamanya proses pemompaan semen, karena jika semen mengeras sebelum waktu pemompaan selesai akan menghambat bahkan bisa menghentikan proses penyemenan, di satu sisi waktu pengeringan juga tidak boleh terlalu lama, idealnya setelah proses pemompaan semen, diharapkan semen sudah mengering sempurna, karena jika terlalu lama otomatis akan menambah biaya operasional. Namun kenyataannya di lapangan sangat susah untuk mencapai kondisi ideal ini. Untuk mengatasi masalah di atas dapat kita tambahkan *additive* ke dalam semen, baik berupa *accelerator* untuk mempercepat proses pengeringan maupun *retarder* untuk memperlambat proses pengeringan. Dalam tulisan ini dilakukan suatu studi laboratorium untuk mengetahui kinerja atau hasil dari *additive* yang digunakan pada variasi temperatur dan juga konsentrasi tertentu. Hal ini untuk mengetahui kinerja yang sebenarnya dari *additive* yang ditambahkan, dan juga dapat digunakan untuk membandingkan kinerja *additive* yang satu dengan yang lain. Sehingga diharapkan kita bisa mengetahui *additive* mana yang paling efektif dan juga yang paling efisien untuk digunakan.

Keyword: Thickening Time, Accelerator, Retarder

PENDAHULUAN

Penyemenan adalah salah satu tahap penting dalam operasi pemboran, proses ini dilakukan untuk melekatkan casing ke batuan formasi. Dimana fungsi casing untuk melindungi agar lubang pemboran tidak runtuh, dan agar fluida dari luar tidak bercampur dengan fluida formasi. Selain itu pemasangan casing juga berfungsi untuk melindungi zona-zona yang lemah agar tidak terjadi *fracture* atau rekahan yang dapat menyebabkan terjadinya *lost circulation* sehingga bisa terjadi *kick*. Sehingga diperlukan hasil penyemenan yang maksimal, agar tidak terjadi masalah pada proses pengeboran selanjutnya maupun proses produksi nantinya.

Operasi penyemenan ini terbagi dalam beberapa tahap, mulai dari pembuatan semen, proses pemompaan hingga proses menunggu semen mengering sempurna (*hardening time*). Salah satu parameter yang perlu diperhatikan dalam proses penyemenan adalah waktu pemompaan (*pumping time*) dimana dalam pemompaan semen waktu pemompaan tidak boleh melebihi waktu semen untuk mencapai 100 UC (*unit of consistency*) sehingga masih dapat dipompakan. *Thickening time* didefinisikan sebagai waktu yang diperlukan suspensi semen untuk mencapai konsistensi sebesar 100 UC (*Unit of Consistency*). Konsistensi sebesar 100 UC merupakan batasan bagi suspensi semen masih dapat dipompa lagi. Dalam penyemenan, sebenarnya yang dimaksud dengan konsistensi adalah viskositas, cuma dalam pengukurannya ada sedikit perbedaan prinsip. Sehingga penggunaan konsistensi ini dapat dipakai untuk membedakan viskositas pada operasi penyemenan dengan viskositas pada operasi pemboran (lumpur

pemboran).

Parameter diatas harus diperhitungkan dengancermat agar tidak terjadi kasus, dimana semen sudah mencapai 100 UC ketika proses pemompaan masih berlangsung. Sehingga proses pemompaan semen dapat terhenti. Dan juga harus dipikirkan, proses penyemenan yang efektif dan efisien, dimana kita tidak usah terlalu lama menunggu semen mengering setelah proses pemompaan selesai dilakukan.

Salah satu cara untuk merubah parameter *thickeningtime* adalah dengan menambahkan *additive* tertentuke dalam semen. Untuk mempecepat proses pengeringan dapat kita gunakan *additive accelerator*, sedangkan kebalikanya untuk memperlambat proses pengeringan semen dapat kita gunakan *additiveretarder*.

Sehubungan dengan hal diatas penulis tertarik untuk mencoba mengetahui seberapa besar pengaruh tiap additive retarder terhadap thickening time semen. Dan juga membandingkan tiga additive retarder.

Semen dan Additive

Pengujian thickening time dimaksudkan untuk menentukan lamanya waktu suspensi semen masih berada dalam keadaan fluida dapat dipompakan, yang disimulasikan pada kondisi lubang sumur. Suspensi semen dalam kondisi yang demikian diperlukan selama waktu penempatan semen di dalam ruang annulus dan kemudian segera membentuk kekuatan pada saat penempatannya hampir selesai. Kedalaman formasi, tekanan dan temperatur sirkulasi lubang sumur sangat berpengaruh terhadap thickening time. Kedalaman, menentukan waktu yang diperlukan untuk menempatkan semen dalam ruang annulus, semakin dalam target formasi yang akan disemen, berarti diperlukan waktu yang lebih lama dalam penempatannya.

Tekanan secara terpisah lebih mempercepat waktu pengerasan suspensi semen pada sumur-sumur dalam sehubungan tekanan yang dialaminya lebih besar, sehingga thickening time juga semakin pendek. Temperatur yang tinggi akan mempercepat laju hidrasi, dimana lamanya waktu periode induksi dan pengerasan semen lebih dipersingkat, sehingga memperpendek thickening time. Temperatur yang dijumpai pada operasi squeezing lebih tinggi dibandingkan dengan temperatur yang dijumpai pada operasi penyemenan casing, oleh karena itu akan dijumpai perbedaan schedule pada pemakaian additivenya.

Thickening time semen kemudian direncanakan untuk melebihi waktu pemompaan atau waktu kerja (yakni, waktu penting untuk melakukan pengerjaan penyemenan) sesuai dengan waktu yang diperlukan pada operasi saat itu, yaitu waktu yang diperlukan untuk mensirkulasikan suspensi semen ke annulus. Dilapangan pada umumnya thickening time tersebut bervariasi antara satu jam sampai 50 % lebih dari pada waktu kerja yang diperlukan.

Pada umumnya suspensi semen diuji di laboratorium pada kondisi tiruan bawah sumur. Dalam hal ini thickening time dilaporkan sebagai selang waktu yang dibutuhkan jarum penunjuk consistometer dari nol sampai 100 UC (UC = satuan API untuk konsistensi) pada pemberian temperatur tertentu. Dalam prakteknya pengujian thickening time secara laboratoris dilakukan sampai harga 70 UC lalu diekstrapolasikan sampai harga 100 UC. Dimana harga 100 UC merupakan viscositas maksimum suspensi semen yang dapat dipompakan. Pengontrolan komposisi semen di pabrik juga dapat memberikan pengaturan waktu yang diperlukan untuk pengeringan suspensi semen. Satu metoda adalah mengatur agar kandungan C3 A rendah sehingga proses pengeringan semen hanya ditentukan oleh hidrasi C3S. Metoda lain adalah dengan mengatur ukuran butiran partikel semen, dimana semen akan lebih lambat mengering bila butirannya lebih besar, dan sebaliknya. Biasanya metoda ini dilakukan di pabrik untuk menghasilkan jenis semen tertentu, yakni semen yang lambat atau cepat mengering. Dalam prakteknya dilapangan, untuk mendapatkan lamanya waktu pengeringan suspensi semen yang sesuai dengan

kondisi lubang sumur, biasanya ditambahkan zat kimia yang berfungsi sebagai accelerator atau retarder.

2.1. Accelerator

Penambahan zat-zat kimia accelerator dapat mempercepat proses hidrasi suspensi semen, sehingga thickening time atau waktu yang diperlukan suspensi semen untuk mengeras, membentuk kekuatan dan terpasang pada posisi yang sebenarnya menjadi lebih pendek. Sehingga dapat memperpendek waktu WOC dan juga sekaligus mengurangi biaya.

2.1.1. Mekanisme Kerja Accelerator

Terjadinya thickening time yang lebih pendek dari keadaan normal suatu suspensi semen, dapat dihubungkan dengan lamanya waktu hidrasi semen tersebut berlangsung. Pengaturan terhadap waktu yang dibutuhkan untuk hidrasi suspensi tersebut dapat dilakukan dengan mempengaruhi mekanisme hidrasi perioda induksi fasa silikat, aluminat dan kelarutan kapur. Adanya beberapa reaksi kimia dari ion-ion atau senyawa-senyawa yang menghambat kelarutan pada reaksi hidrasi semen portland, menyebabkan periode induksi berlangsung lama. Dengan cara menambahkan zat kimia accelerator ke dalam suspensi semen, maka periode induksi menjadi semakin cepat. Dimana ion-ion dari senyawa accelerator bereaksi dan mempercepat laju hidrasi dengan cara merangsang kelarutan komponen semen. Anion-anion seperti Cl^- , NO_3^- dan SO_4^- dapat mempercepat kelarutan kapur, sedangkan kation-kation alkali seperti Na^+ , K^+ dan Ammonium akan mempercepat pelarutan aluminat dan silikat.

Penambahan garam anorganik, misalnya CaCl_2 akan mempercepat pelarutan kapur dan bertambahnya konsentrasi ion kalsium. Sehingga memperbesar harga kelarutan kalsium hidroksida $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ dalam larutan, yang membentuk nuclei dan mengendap. Nuclei tersebut terbentuk pada permukaan C_3S secara aktif dan mengabsorpsi air secara kimiawi. Dalam keadaan tersebut nuclei akan terus bertambah besar sehubungan dengan hidrasi yang terus berlangsung. Bila pada suatu saat sampai pada ukuran besar kritisnya, hidrasi C_3S akan menjadi lebih cepat karena waktu berlangsungnya periode induksi semakin pendek. Perlu diperhatikan, pada penambahan NaCl dalam jumlah yang tinggi akan menimbulkan efek retardasi. Jumlah penambahan NaCl masih dapat berfungsi sebagai accelerator, yaitu pensuplai ion klorida dan ion natrium selama penambahan NaCl masih dapat larut. Apabila penambahan NaCl terus dilakukan sampai lewat jenuh, maka akan menyebabkan menurunnya kelarutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Sehingga terjadi perlambatan hidrasi C_3S .

2.1.2 Jenis Accelerator

Kebanyakan garam anorganik berfungsi sebagai accelerator bagi semen pemboran. Diantaranya yang paling dikenal dan paling banyak digunakan adalah klorida. Garam lainnya yang dapat digunakan sebagai accelerator adalah: karbonat, silikat, aluminat, nitrat, sulfat, tiosulfat dan alkali.

2.2. Retarder

Retarder adalah zat kimia yang dapat memperpanjang lamanya waktu pengerasan dari suspensi semen. Zat ini biasanya dipakai pada penyemenan sumur-sumur dalam atau sumur-sumur bertemperatur tinggi, dimana suspensi semen akan mudah sekali kehilangan air sehingga cepat mengeras.

Pada sumur dalam, biasanya dibutuhkan paling sedikit 3 sampai 4 jam waktu pemompaan untuk mendapatkan waktu penempatan semen yang cukup pada posisi yang dituju. Semakin panjang rangkaian casing atau liner, akan menimbulkan masalah pada selubung semen. Dimana terdapatnya perbedaan temperatur statis yang melebihi 100°F (38°C) sering dijumpai diantara top dan bottom kolom statis semen. Maka dari itu diperlukan retarder yang cukup kedalam suspensi semen untuk memberikan waktu

penempatan yang memadai pada temperature sirkulasi maksimum. Namun sebagai akibatnya dapat terjadi over retarded pada top kolom semen, sehingga waktu WOC lebih lama. Bila ada gas dengan tekanan tinggi dibelakang casing atau liner, akan dapat menimbulkan bahaya invasi gas.

2.2.1. Mekanisme Kerja Retarder

Pengaturan terhadap waktu yang dibutuhkan untuk hidrasi suspensi semen, dapat dilakukan dengan mempengaruhi mekanisme hidrasi perioda induksi fasa silikat sehingga berjalan lebih lama. Hal ini disebabkan karena fasa silikat merupakan komponen terbesar dari semen portland. Pada hidrasi fasa aluminat, perlambatan buatan akan terjadi dengan ditambahkan gypsum pada semen sehingga saat hidrasi membentuk ettringite setelah bereaksi dengan C3A. Ettringite berperan dalam memperlambat hidrasi fasa aluminat selama gypsum masih tersedia dalam campuran, yang mana pembentukan ettringite tetap berlangsung hingga pada suatu saat akan mengendap, dan bila gypsum telah habis proses hidrasi menjadi lebih cepat. Dalam hal ini pengontrolan terhadap lamanya waktu hidrasi untuk fasa aluminat dipengaruhi oleh jumlah gypsum yang dicampurkan, dimana pada penambahannya ada batas jumlah tertentu. Perioda induksi pada hidrasi fasa silikat disebut juga perioda tidur (dormant period), karena pada periode ini reaksi yang berlangsung sangat kecil, sehingga reaksi kelihatan seolah-olah tidak terjadi. Pengamatan thickening time dilakukan selama periode ini berlangsung. Pada keadaan normal periode ini berlangsung dalam beberapa jam. Dengan mempelajari mekanisme terjadinya periode induksi, maka lamanya waktu periode ini dapat diperpanjang sesuai dengan kebutuhan. Hal ini dapat dilakukan dengan cara menambahkan zat retarder. Bekerjanya retarder yang ditambahkan kedalam semen, digolongkan dalam 2 (dua) cara, yakni :

1. Pembentukan lapisan impermeable
2. Menghambat kelarutan komponen semen

2.2.1.1. Pembentukan Lapisan Impermeable

Retarder bereaksi dengan hasil hidrasi semen membentuk lapisan, baik pada permukaan butiran semen maupun pada permukaan nuclei hasil hidrasi berupa anhidrat yang hampir tak larut sehingga tidak dapat ditembus oleh air. Dengan demikian hidrasi akan berlangsung lebih lambat. Retarder yang bekerja dengan membentuk lapisan ini bekerja efektif dalam jumlah perbandingan yang rendah, dimana konsentrasi yang kecil sudah cukup untuk membentuk lapisan monomolekuler pada permukaan butiran. Pada konsentrasi yang lebih besar belum tentu memberikan perlambatan hidrasi yang lebih besar, karena tidak menjamin lapisan - lapisan yang terbentuk akan menjadi lebih sulit ditembus.

2.2.1.2. Menghambat Kelarutan Komponen

Beberapa reaksi kimia dalam suatu sistem tertentu terdapat ion-ion atau senyawa-senyawa yang menghambat kelarutan atau reaksi senyawa lainnya. Hal demikian juga terjadi pada reaksi hidrasi semen portland. Ion kalsium hasil hidrasi fasa silikat menghambat kelarutan kapur garam silikat. Mekanisme terjadinya perioda induksi, salah satunya didasarkan pada kenyataan ini. Dengan cara tetap mempertahankan terdapatnya ion kalsium dalam campuran semen dalam jumlah rendah, hidrasi akan berlangsung lebih lambat. Karena pada periode induksi reaksi bukanlah berarti berhenti, namun pelarutan kapur terus berjalan, dimana konsentrasi ion kalsium juga akan terus bertambah. Bila konsentrasi lewat jenuh tercapai, Ca(OH)_2 akan membentuk nuclei dan mengendap, dimana periode induksi akan lebih cepat. Untuk menghindari hal demikian, berdasarkan Complexation Theory diperlukan retarder tertentu, seperti maleic acids, gliseris acids dan tartaric acids yang dapat ditambahkan kedalam larutan semen. Dengan melakukan chelation (a chemical process involving formation of heterocyclic ring compound which contains at least one metal cation or hydrogen ion in the ring) terhadap ion kalsium, terbentuknya nuclei yang cepat dapat dicegah sehingga periode induksi lambat

2.2.2. Jenis Retarder

Jenis dan jumlah konsentrasi retarder yang digunakan harus diperhitungkan terhadap kadar air yang ada dalam suspensi semen. Kadar air yang tinggi dapat melarutkan retarder dan membawanya terpisah bersama air, sehingga efektifitasnya retarder tersebut akan berkurang. Jenisnya retarder yang akan diuji pada penelitian antara lain Lignosulfonat, Halad 22A dan R-21LS.

Metode Penelitian

Pengujian suspensi yang akan dilakukan adalah pengujian thickening time pada semen yang telah ditambahkan additive accelerator dan retarder. Pengujian rheology bubuk semen dan pengujian compressive strength dengan memvariasikan besarnya konsentrasi additive yang digunakan dan juga temperatur yang digunakan.

3.1. Bahan Yang Digunakan

A. Semen

Disini digunakan semen Tiga Roda dengan spesifikasi semen kelas – G

B. Retarder

- Lignosulfonat
- Halad 22A
- R-21LS

Lignosulfonat

Berfungsi untuk memperpanjang thickening time. Merupakan asam sulfonat dalam bentuk padatan. Dengan konsentrasi pemakaian 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 % BWOC

R-21LS

Berfungsi untuk memperpanjang thickening time. Merupakan Organik Resin dalam bentuk cairan. Dengan konsentrasi pemakaian 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 % BWOW (by weight of water)

Halad 22A

Halad 22A juga berfungsi untuk memperpanjang thickening time. Halad 22A berbentuk bubuk. Halad 22A digunakan sebagai *retarder* semen kelas G, dengan berbagai konsentrasi (0,1 %, 0,2 %, 0,3 %, 0,4% dan 0,5 %)

C. Air

Air yang digunakan adalah aquadest, densitas 1 gr/cc. Dengan persentase sebesar 44 % WCR (Water Cement Ratio)

3.2. Slurry Cement

Slurry semen yang kita gunakan disini merupakan slurry semen standart dengan komposisi semen kelas-G sebanyak 792 gram dan air sebanyak 349 ml (44% dari berat semen).

Sedangkan untuk percobaan pengukuran thickening time, kita tambahkan additive yang kita gunakan retarder dalam pembuatannya, dengan konsentrasi yang diinginkan. Disini penulis mencoba mengetahui pengaruh tiap additive untuk variasi temperature 60°C, 70°C, 80°C dan juga penambahan konsentrasi yang berbeda-beda. Sehingga diharapkan dari percobaan didapatkan pengaruh additive yang digunakan pada temperature dan konsentrasi tertentu terhadap thickening time, dan juga dapat kita bandingkan antara

additive yang satu dengan yang lain dan akan diuji rheology bubuk semen dan compressive strength nya. Hasil kerjanya dan dapat kita tentukan mana yang paling cocok digunakan dan yang paling efisien, pada kondisi-kondisi tertentu.

Hasil dan Pembahasan

Penelitian dengan topik Pengaruh Penambahan Konsentrasi Retarder “Lignosulfonat” , “Halad 2A” dan “R-21LS” Pada Variasi Temperatur (BHCT) Terhadap Rheology Bubur Semen Thickening Time dan Compressive Strength ini menggunakan bahan bubuk semen kelas G, air mineral dan tiga jenis retarder sebagai campuran bubuk semen.

Penggunaan tiga jenis retarder bertujuan untuk membandingkan pengaruh penambahannya kesetiap konsentrasi pada masing masing *additive* kepada campuran bubuk semen. Sehingga didapatkan *retarder* jenis apa yang memiliki pengaruh paling besar.

Pengujian pengaruh penambahan konsentrasi menggunakan tiga jenis retarder yaitu Lignosulfonat (SG=1.3), Halad 2A (SG=1.32), dan R-21LS (SG=1.22). Pengujian awal dilakukan untuk verifikasi apakah bahan dasar semen yang digunakan untuk penelitian termasuk dalam spesifikasi API 10A.

Pengujian *rheology* menggunakan Fann VG meter yang dilakukan dengan menambahkan tiga jenis *retarder* dengan variasi konsentrasi (0,1 %, 0,2 %, 0,3 %, 0,4% dan 0,5 %)) pada formulasi *neat cement* (semen kelas G dan air mineral). Pada penelitian ini, pengukuran *rheology* pada penambahan konsentrasi *retarder* Lignosulfonat menghasilkan peningkatan nilai yang dan mengalami titik penurunan pada penambahan konsentrasi 0.3%. Nilai *plastic viscosity* dan *yield point* pada Halad 2A, mengalami peningkatan yang konstan pada setiap penambahan konsentrasinya. Sedangkan hasil berbeda didapat pada penggunaan retarder R-21LS. *Retarder* tersebut mengalami penurunan nilai *plastic viscosity* dan *yield point* pada setiap penambahan konsentrasinya.. Akan tetapi apabila dibandingkan nilai ketiga *retarder* tersebut, Halad 2A memiliki nilai *yield point* yang paling tinggi sedangkan *retarder* R-21LS memiliki nilai *yield point* yang paling rendah.

Pengujian *thickening time* dilakukan dengan menambahkan tiga jenis retarder dengan variasi konsentrasi (0,1 %, 0,2 %, 0,3 %, 0,4% dan 0,5 %) pada formulasi *neat cement* (semen kelas G dan air mineral). Hasil yang didapat menunjukkan bahwa *retarder* berpengaruh dalam memperlambat waktu pengerasan semen. Pengaruh terbesar dimiliki oleh *retarder* Lignosulfonat pada konsentrasi 0.5% mencapai 202 menit. Begitu juga yang terjadi pada Halad 2A dan R-21LS, terus mengalami kenaikan sampai konsentrasi 0.5%

Pengujian *compressive strength* menggunakan *Hydraulic Pressure Machine* yang dilakukan dengan juga menggunakan tiga jenis retarder yaitu “Lignosulfonat” , “Halad 2A” dan “R-21LS” dengan variasi konsentrasi (0,1 %, 0,2 %, 0,3 %, 0,4% dan 0,5 %) pada formulasi *neat cement* (semen kelas G dan air mineral) dan penggunaan variasi temperatur BHCT (60°C, 70°C, dan 80°C) dengan *curing time* selama 18 jam.

Pada penelitian ini, pengukuran *compressive strength* pada variasi temperatur BHCT (60°C, 70°C dan 80°C), penggunaan *retarder* meningkatkan nilai *compressive strength* walaupun variasi konsentrasi yang diberikan tidak terlalu berpengaruh, akan tetapi peranan temperatur pada pengujian *compressive strength* sangat berpengaruh, Nilai *compressive strength* pada *additive* Lignosulfonat mengalami penurunan nilai pada setiap penambahan konsentrasinya. Akan tetapi apabila dibandingkan dengan nilai yang didapatkan pada suhu yang lebih tinggi, nilai *compressive strength*nya pun mengalami peningkatan. Pada *retarder* Halad 2A setiap suhu mengalami kenaikan pada awal-awal penambahan konsentrasi. Setelah itu pada konsentrasi berikutnya mengalami penurunan sampai pengujian konsentrasi 0.5%. Pada *retarder* R-21LS juga mengalami kenaikan nilai *compressive strength* dan mengalami titik penurunan juga.

Kesimpulan

1. Dari melihat dan membandingkan antar temperatur pada pengujian yang telah dilakukan. Semakin tinggi temperatur sirkulasi, laju hidrasi semakin cepat, sehingga thickening time menjadi lebih pendek.
2. Lignosulfonat lebih sensitive terhadap penambahan konsentrasi dibandingkan R-21LS dan Halad 22A dimana dengan sedikit penambahan. Terlihat pada perubahan thickening time dari konsentrasi 0,1- 0,5%. Nilai yang didapatkan lebih tinggi daripada R-21LS dan halad 22A.
3. Nilai yield point dan plastic viscosity lignosulfonat dan R-21LS mengalami penurunan disetiap penambahan konsentrasi, berbeda dengan Halad 22A nilai yield point dan plastic viscosity mengalami peningkatan disetiap penambahan konsentrasi.
4. Lignosulfanat dapat memperlambat thickening time antara 144-202 menit, R-21LS antara 140-181 menit dan Halad 22A antara 135-192 menit pada konsentrasi penambahan 0.1%, 0.2%, 0.3%, 0.4%, 0.5%
5. Nilai compressive strength Lignosulfonat mengalami penurunan yang konstan dari awal penambahan konsentrasi, berbeda dengan Halad 22A dan R-21LS yang mengalami kenaikan pada penambahan konsentrasi dan mengalami titik penurunan pada penambahan konsentrasi tertentu.

Daftar Pustaka

API Apecification for Material and Testing for Well Cement , API Spec 10,4”Edition , 1988

API Spec. 10A, Specification for Cements and Materials for Well Cementing, 23rd edition. 2002. Washington, DC: API.

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

Halliburton Energy Services, “Halliburton Cementing Technology Manual”, Halliburton Co. Duncan, Oklahoma. USA, 1993.

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

“ Cementing Technology”, Dowell Schlumberger., 1984

“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.

[http://petrowiki.org/Cement composition and classification](http://petrowiki.org/Cement%20composition%20and%20classification)

<http://www.cwmwnt.org/cement-concrete-basics/products>

<http://www.spe.org/d1/docs/2009/Piot.pdf>

www.halliburton.com