

Perhitungan *Material Slurry* Dan Desain *Cement Slurry* Di Laboratorium Pada
Semen Pemboran Kelas G

Mochamad Rafli Azis¹, Dahrul Effendi¹

Prodi Teknik Perminyakan, Falkultas Teknik dan Teknologi, Tanri Abeng University^{1,2}

Rafliazis14@gmail.com¹

Abstrak— Proses penyemenan merupakan salah satu bagian yang sangat penting dalam pemboran migas. Agar semen yang akan digunakan pada sumur pemboran memenuhi persyaratan, penting dilakukan pengujian di laboratorium sesuai dengan perhitungan. Penelitian ini membahas perhitungan material slurry dan desain cement slurry skala laboratorium pada semen pemboran kelas G yang digunakan pada sumur "XN-7" dengan kedalaman 5905 ft. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui volume material slurry yang dibutuhkan untuk proses penyemenan dan mengetahui hasil rheology dan fluid loss setelah melalui tahap pengujian. Penelitian ini terdiri dari 2 formulasi yang berbeda yaitu formulasi A dan B yang memiliki densitas 15,80 PPG untuk penyemenan dengan suhu dan tekanan yang tinggi. Dari hasil perhitungan dan pengujian di laboratorium, didapatkan total material penyemenan yang digunakan pada formulasi A adalah total 300 sack semen, volume air yang dibutuhkan sebanyak 19,42 bbl, dan additive yang digunakan adalah Dispersant (BAD) sebanyak 0,08 gal, Retarder (BAR) sebanyak 0,07 gal, Fluid loss control (BAL) sebanyak 1,50 gal, Gas block (BAG) sebanyak 1,00 gal, Anti foam (BAF) sebanyak 0,03 gal, dengan nilai rheology Plastic viscosity (PV) = 57 dan Yield Point (YP) = 21 dengan nilai fluid loss sebesar 34 cc/30min pada tekanan 1000psi. Formulasi B total penggunaan material penyemenan yang digunakan sebanyak 301 sack semen, volume air yang dibutuhkan 25,87 bbl, dan additive yang digunakan adalah Dispersant (BAD) sebanyak 0,03 gal, Retarder (BAR) sebanyak 0,05 gal, Fluid loss control (BAL) sebanyak 1,00 gal, Gas block (BAG) sebanyak 0,50 gal, Anti foam (BAF) sebanyak 0,03 gal, dengan nilai rheology Plastic Viscosity (PV) = 54 dan Yield Point (YP) = 20 dengan nilai fluid loss yaitu sebesar 26 cc/30min pada tekanan 1000psi. Dari hasil pengujian 2 formulasi A dan B disimpulkan bahwa fluid loss dari formulasi B lebih kecil dibandingkan dengan formulasi A, efektif mengontrol hilangnya fasa liquid ke dalam formasi.

Abstract- The cementing process is a very important part of oil and gas drilling. In order for the cement to be used in drilling wells to meet the requirements, it is important to conduct laboratory testing in accordance with the calculations. This research discusses the calculation of slurry material and laboratory-scale cement slurry design on G-class drilling cement used in the "XN-7" well with a depth of 5905 ft. The purpose of this study is to determine the volume of slurry material needed for the cementing process and determine the results of rheology and fluid loss after going through the testing stage. This study consists of 2 different formulations, namely formulations A and B which have a density of 15.80 PPG for cementing with high temperature and pressure. From the results of calculations and laboratory testing, it was found that the total cementing material used in formulation A was a total of 300 sacks of cement, the volume of water required was 19.42 bbl, and the additives used were Dispersant (BAD) as much as 0.08 gal, Retarder (BAR) as much as 0.07 gal, Fluid loss control (BAL) as much as 1.50 gal, Gas block (BAG) as much as 1.00 gal, Anti foam (BAF) as much as 0.03 gal, with rheology value Plastic viscosity (PV) = 57 and Yield Point (YP) = 21 with fluid loss value of 34 cc/30min at 1000psi pressure. Formulation B total use of cementing material used was 301 sacks of cement, the volume of water required was 25.87 bbl, and the additives used were Dispersant (BAD) as much as 0.030 gal, Retarder (BAR) as much as 0.050 gal, Fluid loss control (BAL) as much as 1.00 gal, Gas block (BAG) as much as 0.50 gal, Anti foam (BAF) as much as 0.03 gal, with rheology value Plastic Viscosity (PV) = 54 and Yield Point (YP) = 20 with fluid loss value of 26 cc/30min at 1000psi pressure. From the test results of 2 formulations A and B, it is concluded that the fluid loss of formulation B is smaller than formulation A, effectively controlling the loss of liquid phase into the formation.

Keywords — Material Slurry, Slurry Cement, Rheology, Fluid Loss

I. PENDAHULUAN

Proses penyemenan merupakan salah satu bagian yang sangat penting dalam pemboran migas. Kegagalan dalam penyemenan formasi merupakan kerugian yang sangat besar, baik secara materi maupun efisiensi waktu. Operasi penyemenan bertujuan untuk melekatkan *casing* pada dinding lubang sumur, melindungi *casing* dari masalah-masalah mekanis sewaktu operasi pemboran berlangsung (seperti getaran), melindungi *casing* dari fluida formasi yang bersifat korosi dan untuk sebagai pemisah antar lapisan formasi di belakang *casing* (Burgoyne, Adam T. Jr, 1986).

Menurut alasan dan tujuannya, Penyemenan dapat dibagi dua, yaitu :

1. Penyemenan primer (*Primary Cementing*) adalah operasi penyemenan yang dilakukan segera setelah *casing* dimasukkan ke dalam lubang. Hal ini dilakukan dengan memompa bubur semen ke seluruh panjang *casing*, keluar dari sambungan bawah, dan masuk ke dalam ruang annular. Sebelum pengeboran atau penyelesaian sumur dimulai, semen dibiarkan mengeras. Menutup anulus dan mendapatkan isolasi zona adalah dua tujuan utama penyemenan primer. Tujuan terakhir tercapai jika semen di dalam anulus mencegah aliran cairan formasi (Suman et al., 1977).
2. *Secondary cementing* merupakan pekerjaan yang dilakukan untuk memperbaiki (*primary cementing*) penyemenan pertama yang dilakukan saat *drilling*, *well completion*, dan *workover*. Strategi terbaik untuk melakukan operasi *secondary cementing* atau *remedial cementing* adalah mengoptimalkan operasi *primary cementing* dan menghindari *remedial cementing* (Fuller, Mercado, & Mead, 2016). Menurut (Rubiandini, 2012) *Secondary cementing* adalah proses penginjeksian semen ke dalam ruang antara pipa dan dinding sumur setelah selesai pengeboran untuk memperbaiki atau memperkuat sambungan antara pipa dan dinding sumur. Proses ini biasanya dilakukan setelah *primary*

cementing, yaitu saat pipa baru ditempatkan dalam lubang sumur dan dikelilingi oleh cairan pengeraskan seperti semen.

Penyemenan yang dilakukan setelah pemasangan *casing* di dalam disebut dengan *primary casing*. Sedangkan penyemenan selain dari *primary cementing* di kelompokkan ke dalam *secondary cementing*. (Rudi Rubiandini, 2009). Desain semen tergantung pada tujuan operasi penyemenan, semen awal biasanya untuk mengisi ruang annular antara *casing* dan lubang dari *float shoe* ke permukaan atau titik beberapa ratus kaki di atas zona yang harus diisolasi. Pekerjaan penyemenan pertama disebut *primary cementing* dan tingkat keberhasilannya sangat penting bagi keberhasilan operasi pengendalian dan penyelesaian sumur berikutnya.

Sifat-sifat bubuk semen harus disesuaikan dengan keadaan formasi yang akan disemen. Sifat-sifat bubuk semen termasuk:

1. Sifat bubuk semen,
2. Densitas bubuk semen,
3. *Fluid loss*,
4. Karakteristik aliran, dan
5. *Thickening time*.

Selain itu untuk pembuatan suspensi semen juga memperhatikan sifat dari suspensi semen tersebut. Karena itu perlu ditambahkan ke dalam “*neat semen*” (suspensi semen yang hanya terdiri dari bubuk semen dan air) beberapa zat kimia (*additive*) agar dicapai hasil penyemenan yang diinginkan. Beberapa *additive* yang digunakan pada penelitian ini dalam pembuatan suspensi semen yaitu:

1. *Dispersant* adalah *additive* yang dapat mengurangi viskositas suspensi semen. Pengurangan viskositas atau friksi terjadi karena disperant mempunyai peran sebagai *thinner* (pengencer).
2. *Retarder* adalah *additive* yang dapat memperlambat proses pengerasan suspensi semen sehingga suspensi tersebut punya cukup waktu untuk mencapai kedalaman target yang diinginkan, atau dengan kata lain *thickening time*-nya lebih panjang.

3. *Fluid-loss control agent* adalah *additive* yang berfungsi mencegah hilangnya fasa *liquid* semen kedalam formasi, sehingga terjaga kandungan cairan pada suspensi semen.
4. *Gas Control* berfungsi untuk mencegah terjadinya migrasi gas saat transisi dari *liquid* ke *solid* dan meningkatkan bonding semen.
5. *Anti foam* digunakan untuk mengurangi kelebihan busa pada saat pembuatan suspensi semen yang dapat menyebabkan hilangnya tekanan pompa dan pembentukan gel.

Pada penelitian kali ini dilakukan pengujian dengan formulasi yang berbeda yaitu formulasi A dan B, dengan variasi tingkat konsentrasi *additive* untuk mendapatkan hasil perhitungan semen dan *additive* dari *cement slurry* yang akan digunakan pada proses penyemenan.

II. METODE PENELITIAN

Pembuatan Suspensi Semen dan Komposisinya pada penelitian ini. Semen kelas G dengan *specific gravity* 3,14. Standar API *slurry cement*, dengan nilai BHCT 175°C, dan memakai beberapa material *additive* dengan variasi tingkat konsentrasi.

Untuk mencapai kualitas semen yang diharapkan, pengujian laboratorium diperlukan untuk komposisi, aditif, dan bubuk semen. Sebelum memulai suatu penelitian, persiapan peralatan dan bahan harus dilakukan. Tahapan persiapan meliputi:

1. Persiapan peralatan dan bahan
2. Prosedur pengujian
3. Desain formulasi
4. Pembuatan suspensi semen
5. Pengujian kualitas semen

Perhitungan yang dilakukan pada penelitian ini meliputi:

A. Perhitungan sack of cement

Jumlah semen yang diperlukan selama proses penyemenan mengacu kepada jumlah *volume slurry* (bubuk semen) yang dibutuhkan. Jumlah sack yang diperlukan untuk penyemenan dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut :

$$\text{Sack Of Cement} = \frac{\text{Total Volume Slurry}}{\text{Yield Slurry}} \quad (1)$$

Dimana :

Sack Of Cement = Jumlah sack yang dibutuhkan

Total Volume Slurry = Total *Volume Slurry*, cuft

Yield Slurry = *Yield Slurry*, cuft/sack

Proses selanjutnya dalam menghitung kebutuhan material penyemenan adalah menghitung volume air dan jumlah *additive*. Jumlah air yang dipergunakan dalam proses penyemenan di sesuaikan dengan jumlah sack semen yang digunakan.

B. Perhitungan mix water required

Banyaknya air yang dibutuhkan dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Mix Water Required} = \frac{\text{Konsentrasi air} \times \text{Sack Of Cement}}{42} \quad (2)$$

Dimana :

Mix Water Required = Air yang dibutuhkan, bbl

Konsentrasi = Konsentrasi air, gal/sack

Sack of cement = Total sack semen
42 = Ketentuan, gal/bbl

C. Perhitungan material required

Total material (*additive*) cair yang dibutuhkan dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Material Additive} = \text{konsentrasi additive} \times \text{sack of cement} \quad (3)$$

Dimana :

Material Additive cair = Total material *additive* cair, gal

Konsentrasi *Additive* = Konsentrasi *additive* cair, gal/sack

Sack Of Cement = Total sack semen yang digunakan, sack

Sedangkan pengujian yang dilakukan pada penelitian ini meliputi:

1. Uji Rheology semen dengan room temperature dan circulate temperature

Pengujian rheology dilakukan pada semen yang akan digunakan dalam proses penyemenan sumur pemboran. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui *plastic viscosity* dan *yield point* dari *slurry cement* yang telah dicampurkan dengan penambahan *additive*.

Pengujian menggunakan alat *viscometer* dan *atmospheric consistometer* dengan cara memasang rotor dan *spindle* lalu masukkan suspensi semen kedalam tabung pengukur. hidukan rotor pada kecepatan 300,200,100,6,3 rpm (Gambar 1). dan catat hasil untuk mendapatkan viskositas *room temperature* disetiap rpm, sampai pembacaan stabil, kemudian bubuk semen disirkulasi pada alat *atmospheric consistometer* untuk diuji pada suhu atmosfer atau suhu tinggi, kemudian bubuk semen di uji viskositas kembali untuk mendapatkan hasil viskositas *circulate temperature*.



Gambar 1. Alat *Viscometer* dan *atmospheric consistometer*

2. Uji fluid loss

Pengujian *fluid loss* dilakukan bertujuan untuk mengetahui berapa banyak cairan yang dapat keluar atau terpisah dari *slurry cement*, masuk kedalam formasi yang ditembus. Kadar *fluid loss* yang dibutuhkan dilihat dari formasi yang akan disemen.

Pengujian ini menggunakan alat *filter press* dengan meletakkan gelas ukur dibawah *silinder* untuk menampung *fluid filtrate* gunakan *filter paper* dan alirkan udara atau gas N₂ dengan tekanan 1000 psi. Catat volume cairan sebagai fungsi waktu dengan *stopwatch*, catat setiap 2 menit pada 10 menit pertama, kemudian setiap 5 menit untuk 20 menit selanjutnya.



Gambar 2. Alat *filter press*

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebelum dilakukan pengujian laboratorium untuk *desain cement*, perhitungan terlebih dahulu dilakukan terhadap air, semen, dan *additive* untuk mengetahui komposisi berat dari masing-masing bahan yang digunakan.

Pada penyemenan ini digunakan semen kelas G karena semen ini merupakan semen basic atau murni. Sehingga jika ditambahkan *additive*, akan mendapatkan sifat yang diinginkan tanpa mempengaruhi sifat – sifat yang lainnya. Pada *Primary Cementing* Perhitungan yang dilakukan termasuk:

1. Sack Of Cement

A. Formulasi A

Pada formulasi A total sack semen yang dibutuhkan :

$$\begin{aligned} \text{Sack Of Cement} &= \frac{360,68 \text{ Cuft}}{1,20 \frac{\text{cuft}}{\text{sack}}} \\ &= 300 \text{ sack} \end{aligned}$$

B. Formulasi B

Pada formulasi B total sack semen yang dibutuhkan :

$$\begin{aligned} \text{Sack Of Cement} &= \frac{355,74 \text{ Cuft}}{1,18 \frac{\text{cuft}}{\text{sack}}} \\ &= 301 \text{ sack} \end{aligned}$$

2. Mix water required

A. Formulasi A

Pada formulasi A total air yang dibutuhkan :

$$\begin{aligned} \text{Mix Water Required} &= \frac{2,72 \times 300 \text{ Sack}}{42} \\ &= 19,42 \text{ bbl} \end{aligned}$$

B. Formulasi B

Pada formulasi B total air yang dibutuhkan :

$$\begin{aligned} \text{Mix Water Required} &= \frac{3,61 \times 301 \text{ Sack}}{42} \\ &= 25,87 \text{ bbl} \end{aligned}$$

3. Volume material required

Tabel 1. Material penyemenan yang dibutuhkan formulasi A

No.	Material additive	Conc.additive x sack of cement	Total Material
1.	Dispersant	0,08 x 300	24 gal
2.	Retarder	0,07 x 300	21 gal
3.	Fluid Loss Controll	1,50 x 300	450 gal
4.	Gas Block	1,00 x 300	300 gal
5.	Anti Foam	0,03 x 300	9 gal

Tabel 2. Material penyemenan yang dibutuhkan formulasi B

No.	Material additive	Conc.additive x sack of cement	Total Material
1.	Dispersant	0,03 x 301	9,03 gal
2.	Retarder	0,05 x 301	15,05 gal
3.	Fluid Loss Controll	1,00 x 301	301 gal
4.	Gas Block	0,50 x 301	150,5 gal
5.	Anti Foam	0,03 x 301	9,03 gal

Sebelum dilakukan proses penyemenan, *slurry cement* akan diuji setelah dilakukannya perhitungan, pengujian yang dilakukan adalah uji *rheology* dan uji *fluid loss* terhadap suspensi semen.

1. Uji Rheology semen pada room temperature dan circulate temperature.

Uji *rheology* pada kedua sampel dilakukan sebanyak 2 kali terhadap *slurry cement* dengan berbeda kondisi *temperature* yaitu pada *room temperature* dan *circulate temperature* atau (BHCT) dengan nilai BHCT yang digunakan adalah 175°C pada kedua formulasi.

Viskositas diukur dalam *centipoises* (cp), ini dilakukan setelah bubuk semen dicampurkan dengan air dan *additive* menggunakan *constant speed mixer*. Pada masing-masing data, uji *reology* dilakukan dengan nilai densitas 15,80.

Tabel 3. Tabulasi hasil pengujian *rheology* pada formulasi A

	Room. Temp	Circ. Temp
R300	78	119
R200	65	78
R100	40	54
R6	13	25
R3	10	20
PV	57	97,5
YP	21	21,5

Pada pengujian *rheology* suspensi semen pada formulasi A hasil yang didapat pada *dial reading* 300 adalah 78 pada *room temperature* dan 119 pada *circulate temperature* dan hasil pada *dial reading* 100 adalah 40 pada *room temperature* dan 54 pada *circulate temperature*, dan diperoleh *plastic viscosity* sebesar 57 cp pada *room temperature* dan 97,5 cp pada *circulate temperature*.

Tabel 4. Tabulasi hasil pengujian *rheology* pada formulasi B

	Room. Temp	Circ. Temp
R300	74	113
R200	59	75
R100	38	49
R6	10	22
R3	9	17
PV	54	96
YP	20	17

Pada pengujian *rheology* suspensi semen pada formulasi B hasil yang didapat pada *dial reading* 300 adalah 74 pada *room temperature* dan 113 pada *circulate temperature* dan hasil pada *dial reading* 100 adalah 38 pada *room temperature* dan 49 pada *circulate temperature*, diperoleh *plastic viscosity* sebesar 54 cp pada *room temperature* dan 96 cp pada *circulate temperature*. Hasil *plastic viscosity* ini didapat dengan rumus :

$$PV = R300 - R100 \times 1,5 \quad (4)$$

Dimana : PV : *Plastic viscosity*
R300 : *Dial Reading* 300
R100 : *Dial Reading* 100
1,5 : ketentuan

Pengukuran *reology* semen ini digunakan di lapangan untuk menghitung hidrolika operasi penyemenan, yang sangat penting dalam operasi pemboran. Dalam kasus ini, *reology* semen berkaitan dengan perkiraan kehilangan tekanan akibat friksi serta sifat-sifat aliran penyemenan. Disesuaikan dengan keadaan formasi agar operasi penyemenan berhasil.

2. Uji Fluid loss

Pengujian *fluid loss* ini disesuaikan dengan kondisi temperature pada lubang sumur yang akan disemen. Namun, hasil pengujian *fluid loss* diukur dalam satuan cc/30 mnt/1000 psi, sesuai dengan standar API untuk pengujian ini, dan tekanan yang digunakan adalah 1000 psi.

Synthetic organik liquid polymer dan *cellulosic derivat* adalah *additive* yang biasa digunakan untuk mengurangi *fluid loss*. *Bentonite* juga digunakan untuk *fluid loss* (400-500 ml/30 menit) dan dapat digunakan pada densitas rendah. Perhitungan *fluid loss* menggunakan rumus sebagai berikut :

$$Q_t = \left(\frac{Q_t \times 5,477}{\sqrt{t}} \right) \times 2 \quad (5)$$

Dimana : Q_t : Jumlah filtrat pada waktu t
 t : Waktu dalam hitungan menit saat pengujian berhenti

Tabel 5. Hasil pengujian *fluid loss*

Sampel		Waktu dan tekanan	Hasil
Formulasi A	17 CC	30 menit/1000 psi	34 CC
Formulasi B	13 CC	30 menit/1000 psi	26 CC

Pada pengujian ini menggunakan semen 300 sack pada formulasi A dan 301 sack pada formulasi B, air 19,42 bbl pada formulasi A dan 25,87 bbl pada formulasi B, dengan volume *additive fluid loss* 450 gal pada formulasi A dan 301 gal pada formulasi B, *additive* ini digunakan sebagai *additive* yang berfungsi mencegah

hilangnya fasa *liquid* semen kedalam formasi, sehingga terjaga kandungan cairan pada suspensi semen.

Pada kedua sampel menunjukkan formulasi B memiliki *fluid loss* yang lebih rendah dibandingkan formulasi A, penambahan *additive fluid loss control* berpengaruh pada jumlah cairan yang keluar setelah 30 menit. Diharapkan bahwa semakin tinggi temperatur maka semakin rendah volume filtrat yang hilang, dan kehilangan fluida yang lebih tinggi mengindikasikan bahwa ketika bubuk semen dipompakan ke dalam sumur, mungkin diperlukan penyemenan sekunder.

Jika digunakan di lapangan, *fluid loss* yang berlebihan dapat menyebabkan pecah formasi karena banyak cairan atau suspensi *filtrasi* semen yang hilang ke formasi, mengakibatkan *lost circulation*. Karena bubuk semen terdiri dari *fase solid* (padatan) dan *liquid* (cairan), cairan dari bubuk semen dapat masuk ke dalam formasi-formasi *permeable* yang dilewatinya. Cairan atau umumnya air yang masuk ini disebut dengan *filtrat*. *Filtrat* ini tidak boleh terlalu banyak, sebab akan membuat bubuk semen kekurangan air. Apabila kekurangan air maka bubuk semen akan cepat mengeras sebelum waktu seharusnya, kondisi seperti ini disebut dengan *Flash Set*. Jika bubuk semen mengalami *flash set*, friksi di *annulus* naik, *pressure loss* naik, dan tekanan bubuk semen di *annulus* naik. Formasi akan pecah jika tidak dapat menahan tekanan hidrostatik semen. Dan akan berdampak pada kinerja pompa yang lebih tinggi.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan perhitungan diatas untuk penyemenan dengan suhu BHCT 175°C dan tekanan yang tinggi pada kedalaman 5905ft di sumur “XN-7”.

1. Jumlah semen yang dibutuhkan pada perhitungan material *slurry*, didapatkan total material penyemenan yang dibutuhkan pada formulasi A adalah total 300 sack semen, dengan volume air yang dibutuhkan sebanyak 19,42 bbl, dan pada formulasi B total material penyemenan yang dibutuhkan sebanyak 301 sack semen, dengan volume air yang dibutuhkan 25,87 bbl.

2. Setelah pengujian *rheology* pada formulasi A didapatkan nilai *rheology Plastic viscosity* (PV) = 57 cp dan *Yield Point* (YP) = 21 lbs/100ft² dan Formulasi B dengan nilai *rheology Plastic Viscosity* (PV) = 54 cp dan *Yield Point* (YP) = 20 lbs/100ft²
3. Dari hasil pengujian 2 formulasi A dan B disimpulkan penambahan beberapa material *additive* sangat mempengaruhi hasil dari *rheology* dan *fluid loss*, dan dari formulasi B jumlah *fluid loss* lebih kecil yaitu 26 cc dibandingkan dengan formulasi A yaitu 34 cc, hal ini menjadikan formulasi B cukup efektif untuk mengontrol hilangnya fasa liquid ke dalam formasi yang memiliki kedalaman 5905ft dengan suhu dan tekanan yang tinggi, karena jumlah *fluid loss* yang terukur lebih rendah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Adams, N.J., Charrier, T. (1989). *Drilling Engineering: A Complete Well*.
- [2] Al-Shamry, A., Al-Muntasheri, G., Nasr-El-Din, H. (2012). Optimizing Cement Slurry Performance with Dispersants. *SPE Journal*, 17(1), 77-87. doi: 10.2118/146442-PA.
- [3] API RP10B-2, Recommended Practice for Testing Well Cements. 2013. Washington, DC: API.
- [4] Bourgoyne Adam T. Jr., "Applied Drilling Engineering" First Printing Society of Petroleum Engineer, Richardson TX-1986.
- [5] Baker Huges, INTEQ. 1995. *Drilling Engineering Workbook*. Baker Huges INTEQ. Houston United State of America.
- [6] Fuller, G. A., Mercado, S., & Mead, C. (2016). Engineered Solutions to Address Deepwater Remedial Cementing Challenges. IADC/SPE Drilling Conference and Exhibition, p.13. <https://doi.org/10.2118/178768-MS>.
- [7] Halliburton. (1987). *Cementing Technology*. Halliburton Services. Duncan, Oklahoma, USA.
- [8] Liu, X., Rao, P., Xiao, W., Xiao, Q., & Zhang, W. (2015). Synthesis and performance of fluid loss agents based on different acrylamide monomers. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, 5, 409-415.
- [9] Martha, I. B., Zabidi, I., & Satiawati, L. (2015). Seminar Nasional Cendekiawan. Studi Laboratorium Pengaruh Penambahan Lignosulfanote Pada Compressive Strength Dan Thickening Time Pada Semen Pemboran Kelas G, 4.
- [10] Nurmalarari, M. D., & Firdausi, A. (2017). *Densitas dan Porositas Batuan*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [11] Nelson E.B., "Well Cementing", Schlumberger Educational Series, Houston-Texas, 1990. Halliburton Energy Services, "Halliburton Cementing Technology Manual", Halliburton Co. Duncan, Oklahoma. USA, 1993.
- [12] Oil Well Cement at Elevated Temperatures. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 178, 197.
- [13] Rubiandini R.S, Dr. Ir. Rudi. "Teknik Pemboran dan Praktikum", Penerbit ITB.
- [14] Rubiandini, Rudi. "Teknik Operasi Pemboran Volume 1". ITB, Bandung, 2012.
- [15] Rubiandini, R. (2010). *Teknik Pemboran: Drill-016b Percobaan II Viskositas, Gel Strength dan Atmosfer Filtration Loss*. Bandung: ITB.
- [16] Samura, L., Zabidi, L., & Ainurridha, K. (2017). Pengujian Compressive Strength Dan Thickening Time Pada Semen Pemboran Kelas G Dengan Penambahan Additif Retader. *Jurnal Petro*, 6(2), 49-54.
- [17] Suman, George and Ellis, Richard. 1977. *World Oil's Cementing Handbook*. Gulf Publishing Company. Houston, United States of America.
- [18] Smith, D. K. 1990. *Cementing. Monograph Volume 4*, SPE. Richardson, TX.