

# Studi Perencanaan dan Pelaksanaan *Squeeze Cementing* Metode *Bradenhead Squeeze* untuk *Water Shut Off* pada Sumur Minyak dengan *Water Cut Tinggi*

Aldi Priambodo<sup>1</sup>, Cahyadi Julianto<sup>2</sup>, Muhammad Rizky Nugroho<sup>3</sup>, dan Hidayat Tulloh<sup>4</sup>

UPN “Veteran” Yogyakarta<sup>1,2,3,4</sup>

e-mail: priambodoaldi01@gmail.com

## ABSTRACT

*Squeeze Cementing* is type of secondary cementing, which is the process of applying hydraulic pressure to force the cement slurry to enter the empty gap in the formation and to repair the damage of the primary cementing. Well X is a well in the waterflood project which is located in the Baturaja formation with the dominance of limestone with an average porosity of 16% and a permeability of 65 mD. The production history of well X shows a decrease in oil production from 134 Bbl to 14.2 Bbl, and a significant increase in water cut by 45% to 96% within 6 months. This was then followed up with a cement bond log analysis which showed an amplitude reading of 62 mV. This is an indication of damage to the primary cementing which results in channel. The indication of primary cement damage is also reinforced by the high porosity value of the limestone formation which is one of the causes of lost circulation during the waterflood drilling program. The formed channel then acts as a water entrance to the well, and increase the water cut which results in water production in well X significantly. To solve this problem, a squeeze cementing program was designed using the packerless low-pressure squeeze method or called the *Bradenhead Squeeze*, considering the condition of the well and its effect on the pressure applied during the cementing process. The results of the implementation of squeeze cementing proved to be successful in overcoming water channeling in well X. This is indicated by a change in the amplitude value of the Cement Bond Log reading of 20 mV, the improvement of bond index value, and the decrease in water cut after the implementation of the squeeze cementing program.

**Kata kunci:** *Squeeze Cementing, Bradenhead Squeeze, Water Cut, Water Channeling*

## ABSTRAK

*Squeeze cementing* merupakan jenis *secondary cementing* berupa proses aplikasi tekanan hidrolis untuk mendesak bubuk semen masuk ke celah kosong di formasi dengan tujuan untuk memperbaiki kerusakan pada *primary cementing*. Sumur X merupakan sumur *project waterflood* yang terletak pada formasi baturaja, dominasi batugamping dengan porositas sebesar 16%, dan permeabilitas 65 mD. Riwayat produksi sumur X menunjukkan adanya penurunan produksi minyak dari 134 Bbl menjadi 14.2 Bbl, dan peningkatan *water cut* secara signifikan dari 45% hingga 96% dalam waktu 6 bulan. Hal tersebut ditindaklanjuti dengan analisa *cement bond log* ditunjukkan pembacaan amplitudo sebesar 62 mV. Indikasi kerusakan pada *primary cementing* tersebut mengakibatkan terbentuknya *channel*. Indikasi kerusakan tersebut diperkuat dengan nilai porositas yang tinggi pada formasi *limestone* yang menjadi salah satu penyebab terjadinya *lost circulation* selama program pemboran *waterflood*. Melalui *channel* tersebut air ikut masuk dan terproduksi, sehingga terjadi peningkatan *water cut* yang mengakibatkan produksi air pada sumur X meningkat secara signifikan. Untuk mengatasi masalah tersebut dilakukan program *squeeze cementing* dengan metode *packerless low-pressure squeeze* atau *Bradenhead Squeeze* dengan pertimbangan kondisi sumur dan tekanan yang diaplikasikan selama proses penyemenan. Hasil *squeeze cementing* mampu mengatasi *water channeling* pada sumur X, dengan perubahan nilai amplitudo hasil pembacaan *Cement Bond Log* menjadi 20 mV, perbaikan nilai *bond index*, dan penurunan *water cut* setelah pelaksanaan program *squeeze cementing* tersebut.

**Kata kunci:** *Squeeze Cementing, Bradenhead Squeeze, Water cut, Water Channeling*

## PENDAHULUAN

Penyemenan secara umum memiliki beberapa tujuan seperti melekatkan casing dengan dinding lubang bor, untuk mengisolasi zona minyak, gas, dan air dalam sumur, sehingga tidak terjadi aliran masuk (*influx*) air dan gas ke dalam sumur. Penyemenan Primer atau *Primary Cementing* adalah proses penempatan bubuk semen ke dalam annulus antara casing dengan dinding lubang bor. Penyemenan dibagi mejadi *primary* dan *secondary cementing*. *Primary Cementing* adalah penyemenan pertama kali yang dilakukan setelah casing diturunkan ke dalam sumur. Sedangkan, *Secondary Cementing* merupakan metode perbaikan penyemenan dari *primary cementing*.

Evaluasi pelaksanaan *primary cementing* tersebut dapat dilakukan dengan beberapa metode, seperti *cement bond logging- variable density logging* (CBL & VDL), dan Pressure Test. Apabila hasil analisa menunjukkan kualitas semen yang buruk atau mengalami kerusakan, maka dapat dilakukan *secondary cementing* seperti *squeeze cementing*. Kerusakan pada penyemenan tersebut memungkinkan dapat terjadinya masalah produksi pada sumur, seperti peningkatan produksi air, atau gas pada sumur dan mengakibatkan umur produksi dan tingkat keekonomian sumur tersebut berkurang.

*Remedial Cementing* sebagai penyemenan sekunder, membutuhkan perencanaan dan persiapan yang sama pentingnya seperti penyemenan primer. Selain itu, intepretasi dan analisa yang tidak tepat mengenai masalah yang terjadi pada sumur menjadi penyebab banyak penerapan *remedial/secondary cementing* gagal. Oleh sebab itu, pada makalah ini disajikan mengenai studi kasus perencanaan dan pelaksanaan *squeeze cementing* dalam menyelesaikan masalah pada sumur yang diakibatkan oleh penyemenan primer yang buruk, sehingga terjadinya *water channeling* yang menyebabkan adanya sejumlah air yang ikut terproduksi ke permukaan, dan meningkatkan nilai presentasi air terproduksi (*water cut*) dari sumur tersebut.

## TINJAUAN PUSTAKA

### Squeeze Cementing

*Squeeze cementing* merupakan salah satu jenis *secondary cementing* berupa proses aplikasi tekanan hidrolis untuk mendesak bubuk semen masuk ke celah kosong di formasi. *Squeeze Cementing* bertujuan mengubah kondisi lubang sumur, dan memperbaiki masalah yang ditimbulkan akibat hasil *primary cementing* yang rekah atau semen yang tidak baik ikatannya. (Bradford, and Cowan, 1991).

I. Secara umum, Aplikasi Metode *Squeeze Cementing* yaitu sebagai berikut:

- Perbaikan *Primary Cementing*
- Isolasi Interval Perforasi
- Menurunkan *Water-Oil Ratio* dan *Gas-Oil Ratio*
- Memperbaiki masalah pada casing Sumur: *split casing*, *casing leak*, dan korosi casing.

II. *Secondary-Squeeze Cementing* secara umum terdiri dari beberapa metode yaitu:

- Berdasarkan Tekanan Injeksi
  - a. *High Pressure Squeeze*
  - b. *Low Pressure Squeeze*
- Berdasarkan Metode Penempatan (*Placement*)
  - a. *Bradenhead Squeeze-no packer*
  - b. *Retrievable Squeeze Packer-mobile packer*
  - c. *Cement Retainer Method-fixed packer*
- Berdasarkan Tekanan Pemompaan
  - a. *Running Squeeze Pumping*
  - b. *Hesitation Squeeze Pumping*

## METODE

Perencanaan squeeze cementing menurut Jones, dan Walter dalam PWC 11 Remedial Cementing Halliburton ditunjukkan pada **gambar 1** dan terdiri dari tahapan sebagai berikut:

- a. *Planning* : Tahap Perencanaan Awal terhadap parameter dan data yang sudah diketahui, tahap ini meliputi proses identifikasi problem squeeze, analisa kondisi lubang bor (suhu dan tekanan), dan pemilihan teknik squeeze yang digunakan.
- b. *Designing* : Tahap utama pada perencanaan squeeze cementing berupa proses pemilihan alat, desain bubuk semen sesuai dengan problem, pemilihan fluida cementing lain seperti cement spacer, fluida pendorong, perforating wash fluid, dll.
- c. *Execution* : Pelaksanaan dari hasil perencanaan yang sudah dilakukan. Pada tahap ini keberhasilan squeeze cementing ditentukan berdasarkan pengalaman dan pemahaman terhadap riwayat sumur, dan kondisi lapangan.
- d. *Evaluation* : Tahap evaluasi terhadap hasil remedial-squeeze cementing, meliputi proses analisa dengan metode CBL&VDL, dan Pressure Test (Positif & Negatif Test).

Selain tahapan secara umum tersebut, proses perencanaan squeeze cementing juga terdiri dari tahap perhitungan terhadap beberapa parameter utama. Berdasarkan, Richard and Walter, perhitungan squeeze cementing terdiri dari tahap perhitungan volume, dan tekanan.

- a. Perhitungan Volume Bubur Semen

*Volume Equation*

$$V_{slurry} = 0.1781 S Y$$

Keterangan :

Vol. Slurry : Vol. bubuk semen, bbl

S : Jumlah Sak Semen, sak

Y : Yield Semen, ft<sup>3</sup>/sk

*Fill Equation*

$$H = V_{slurry} C$$

Keterangan :

H : Tinggi Kolom Semen, ft

C : kapasitas tubing, ft/bbl

- b. Perhitungan Displacement Volume

$$\text{Disp. Vol} = \text{vol. tubing} + \text{vol. casing (top perfo- packer)}$$

Keterangan :

Tubing Volume : kapasitas tubing (bbl/ft) x panjang tubing (ft)

Casing Volume : kapasitas casing (bbl/ft) x Depth. Top Perfo- Packer

- c. Perhitungan *Surface Breakdown Pressure*

$$P_{bd} = (H \times FG) - \Delta Ph$$

Keterangan :

Pbd = Pressure Breakdown, psi

H = Tinggi Kolom Semen, ft

FG = Fracture Gradient (Gradien Rekah Formasi), psi/ft

$\Delta Ph$  = Hydrostatic Pressure, psi

- d. Perhitungan Estimasi Tekanan Squeeze

$$(P_{squeeze} + \Delta Ph)/H = 1 \text{ psi/ft} \dots\dots\dots(a)$$

$$\Delta Ph = \Delta P_{cement} + \Delta P_{spacer} + \Delta P_{completion \text{ brine}} \dots\dots(b)$$

dimana :

$$\Delta P_{cement} = 0.052 \text{ psi/ft} \times \text{densitas slurry} \times \text{vol slurry} \times \text{cap.casing}$$

$$\Delta P_{spacer} = 0.052 \text{ psi/ft} \times \text{densitas spacer} \times \text{vol spacer} \times \text{cap. tubing}$$

$$\Delta P_{com.brine} = (0.052 \text{ psi/ft}) \times H \text{ comp.brine} \times \text{densitas comp.brine}$$

Keterangan :

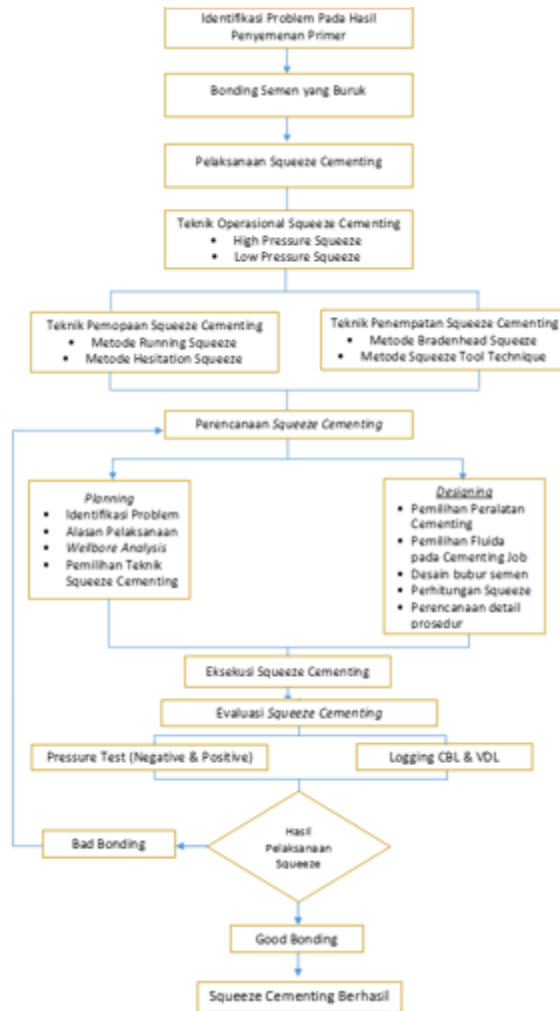
P<sub>squeeze</sub> = Tekanan Squeeze, psi

$\Delta Ph$  = Tekanan Hidrostatik, psi

$\Delta P_{cement}$  = Tekanan Cement Slurry, psi

$\Delta P_{spacer}$  = Tekanan Spacer

$\Delta P_{comp.brine}$  = Tekanan Fluida Kompleksi



Gambar 1. Diagram Alir Proses Perencanaan dan Pelaksanaan *Squeeze Cementing*

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Studi Kasus - Permasalahan

Sumur X merupakan sumur pada *project waterflood* yang terletak pada Formasi Baturaja dengan karakteristik reservoir berupa batugamping (*carbonat*) dengan rata-rata porositas 16%, dan permeabilitas 65 mD. Nilai Porositas yang tinggi pada formasi limestone di lapangan Y menjadi salah satu penyebab terjadinya lost circulation selama program pemboran waterflood. Salah satu contoh kasus dari *major lost circulation* adalah pada Sumur X, dimana *major problem* tersebut menyebabkan kegagalan pada *primary cementing*. Kegagalan *primary cementing*, menyebabkan terbentuknya *water channel*, hingga sumur X sebagai sumur produksi mengalami peningkatan produksi air secara signifikan, yang ditunjukkan dengan peningkatan kadar water cut dari 45% hingga 96% dalam waktu 6 bulan dan penurunan produksi minyak dari 134 BOPD menjadi 14.2 BOPD dalam rentang waktu tersebut.

Berdasarkan permasalahan tersebut, *remedial-squeeze cementing* dilakukan dengan menggunakan metode low-pressure squeeze atau bradenhead squeeze method, bertujuan menutup adanya zona *water channeling* pada primary cementing. Sehingga terproduksinya air dapat dihentikan dengan indikasi adanya penurunan water cut.

### **Tinjauan Lapangan dan Riwayat Sumur**

Sumur X merupakan sumur migas *onshore* terletak pada Lapangan Y formasi baturaja. Porositas sebesar 16%, permeabilitas 65 mD, dan rata-rata kedalaman reservoir 2,700 ft TVD SS. Kombinasi karakter *porous formation* dan penurunan tekanan menyebabkan terjadinya *lost-circulation* pada berbagai lokasi di lapangan tersebut, yang mana hal ini menjadi tantangan pada pelaksanaan *primary* atau *squeeze cementing*.

Sumur "X" merupakan sumur vertikal. Pada saat kegiatan pemboran di sumur X, terjadi *problem lost circulation* pada kedalaman 2,764 ft hingga 3,033 ft, penanganannya dibutuhkan sirkulasi lumpur pemboran sebanyak 5,792 bbl. Pelaksanaan *primary cementing* sumur tersebut membutuhkan 56 bbl bubuk semen, 30 bbl LCM, dengan kebutuhan 130 sak semen dan densitas 11.5 ppg. Sumur X diperforasi dan berproduksi pada kedalaman 2,820-2,830 ft. Hasil evaluasi pada sumur ditemukan pembacaan *freepipe* pada interval kedalaman 2,800 ft hingga 2,880 ft dengan nilai rata-rata pembacaan *cement bond log* sebesar 62 mV. Fase awal produksi sumur menggunakan *artificial lift*, initial test menghasilkan 134 BOPD dengan water cut 45%. Setelah 6 bulan berproduksi, sumur mengalami penurunan produksi minyak hingga 14.2 bbl, water cut naik signifikan hingga 96%. Evaluasi dari riwayat sumur X menunjukkan adanya *water channeling*, pelaksanaan squeeze cementing dilakukan pada kedalaman 2,820-2,830 ft dengan perforasi sebagai *cement path* menuju zona *water channeling*.

### **Analisa**

Analisa studi kasus squeeze cementing sumur X dapat dijelaskan secara detail sebagai berikut:

#### **1. Planning (Perencanaan Awal)**

*Planning* merupakan tahap perencanaan awal pada pelaksanaan program squeeze cementing berupa tahap analisa terhadap masalah yang terjadi. Pada Sumur X terjadi masalah meningkatnya water cut secara signifikan dari 45% hingga 96% dalam waktu 6 bulan dan penurunan produksi minyak dari 134 BOPD menjadi 14.2 BOPD dalam rentang waktu tersebut. Evaluasi CBL & VDL (terlampir **pada gambar A**) menunjukkan indikasi kerusakan penyemenan primer yang menyebabkan terjadinya *channeling*.

Karakteristik formasi Baturaja yang didominasi batugamping dengan nilai porositas dan permeabilitas yang tinggi dapat menyebabkan terjadinya zona loss. Ditinjau dari riwayat pemboran sumur X menunjukkan terjadinya *lost-circulation* pada kedalaman 2,764 ft hingga 3,033 ft. Korelasi antara kedua hal tersebut membuktikan bahwa pada sumur X memang terjadi riwayat masalah *lost-circulation* yang menyebabkan kerusakan pada penyemenan primer, dan kemudian penyemenan primer yang buruk tersebut menjadi indikasi utama terjadinya *water channeling*. Pada Sumur X direncanakan program squeeze cementing dengan memanfaatkan interval perforasi pada kedalaman 2,820 – 2,830 ft sebagai jalur masuk bubuk semen menuju zona *channel* dibelakang casing.

#### **2. Designing (Desain)**

Tahap *cementing program design* merupakan tahap utama dalam perencanaan squeeze cementing meliputi berbagai proses perencanaan terhadap fluida penyemenan yang digunakan, perhitungan tekanan, pemilihan alat.

##### **a. Perhitungan Tekanan**

Kondisi kedalaman sumur 2,800 ft, dengan asumsi gradient rekah formasi 0,7 psi/ft. Tekanan rekah formasi dapat dihitung sebesar 1960 ft. Pertimbangan tekanan hidrostatik 1200 psi, maka terdapat selisih 760 psi, tekanan tersebut sebagai

*maximum surface pressure*. Kondisi tekanan tersebut jauh lebih rendah dari wellhead rating pressure sebesar 3000 psi. Kombinasi perhitungan dan riwayat sumur, sehingga dipilih metode *packerless low-pressure squeeze cementing* disebut **Bradenhead Squeeze**. Perencanaan tersebut dengan pertimbangan bahwa *applied pressure* dapat diterima oleh *wellhead*, bukan diterima oleh *packer* (Smith, 1976).

b. Komposisi Bubur Semen

Komposisi bubuk semen di desain sesuai dengan masalah dan kondisi pada sumur (Tekanan, suhu, karakteristik batuan). Bubur semen sesuai dengan komposisi *regular squeeze cementing*, semen kelas G digunakan dengan tambahan *additive*, kombinasi *fluid-loss agent*, *retarder*, dan *friction-loss reducer*, sesuai **tabel 1**. Sedangkan, implementasi lapangan dan kebutuhan semen secara lengkap ditunjukkan melalui **tabel 2**.

Tabel 1. Komposisi Bubur Semen

| No | Keterangan          | Komposisi                  |
|----|---------------------|----------------------------|
| 1  | Semen Kelas G       |                            |
| 2  | Fluid Loss          | 88 mL/30 min               |
| 3  | Thickening Time     | 4.09 jam                   |
| 4  | Densitas Semen      | 15.8 ppg                   |
| 5  | Yield Slurry        | 1.16 ft <sup>3</sup> /sack |
| 6  | Compressive Stength | 2951 ; after 24 hours      |

Sumber: Aprilianto, 2010

c. Peralatan Cementing

Pada *squeeze cementing program* tidak diperlukan *special packer* karena metode penyemenan yang digunakan yaitu *packerless low-pressure squeeze* atau *bradenhead squeeze*. Peralatan lain berupa tubing tipe J-55 dengan ukuran 2-7/8", 400 HP Cementing Unit, dan *batch mixer* kapasitas 80 sack. Karena keterbatasan kapasitas alat, maka pelaksanaan *squeeze cementing* dilakukan secara bertahap sebanyak 5 stages dengan kebutuhan setiap stages sebesar 25-80 sak (**tabel 2**).

Tabel 2. Remedial Cementing Program

| Stage | Injectivity |     | Amount of cement<br>(Sacks) | Cement Vol.<br>(bbl) | Disp. Slurry<br>(bbl) | TOC   | Remarks                          |
|-------|-------------|-----|-----------------------------|----------------------|-----------------------|-------|----------------------------------|
|       | Psi         | bpm |                             |                      |                       |       |                                  |
| 1     | 200         | 5.0 | 80                          | 16.52                | All                   | None  | No test                          |
| 2     | 800         | 4.5 | 80                          | 16.52                | All                   | None  | No test                          |
| 3     | 800         | 3.1 | 80                          | 16.52                | 16.01                 | 2.837 | TOC below perforation            |
| 4     | 800         | 0.0 | 25                          | 5.16                 | 3.67                  | 2.812 | LCM 10bbl, Leak on positive test |
| 5     | 800         | 2.5 | 80                          | 16.52                | 12.24                 | 2.714 | Positive,negative test OK        |

Sumber : Aprilianto, 2010

3. Execution (Pelaksanaan)

Tahap pelaksanaan dari tahap sebelumnya atau berupa implementasi lapangan. Secara umum, pelaksanaan *squeeze cementing* terdiri dari tahap : *injectivity* test, campur dan pompa sejumlah semen ke dalam sumur, angkat tubing dan perkirakan TOC, aplikasikan tekanan final *squeeze*,

tunggu semen kering, *drill out cement*, dan evaluasi hasil penyemenan. Secara umum dijelaskan pada **gambar 2C**.

Pada studi kasus ini, pelaksanaan atau implementasi lapangan squeeze cementing sumur X dilakukan secara bertahap selama 5 stage (tahap) sesuai pada **tabel 2**. Hal tersebut dilakukan dengan pertimbangan kapasitas peralatan (*batch mixer*) yang tidak mencukupi untuk dilakukan sekali penyemenan (*one stages*). Selain itu, pelaksanaan penyemenan berdasarkan stages atau bertahap memiliki kelebihan berupa kontrol terhadap jumlah semen yang digunakan.

#### 4. Evaluation (Evaluasi)

Hasil analisa CBL-VDL setelah final stage implementasi di lapangan ditunjukkan pada **gambar 2A** dan **2B**. Evaluasi CBL & VDL secara lengkap menunjukkan:

- Ikatan semen setelah dilakukan squeeze cementing semakin baik, ditunjukkan dengan rata-rata pembacaan amplitudo mengalami penurunan dari 62 mV menjadi <20 mV.
- Analisa VDL setelah squeeze cementing menunjukkan ikatan semen yang baik, ditandai dengan sinyal casing arrival yang melemah, sedangkan formation arrivalnya kuat.
- Analisa kuantitatif menunjukkan harga bond index sebesar 0.8 pada interval 2816–2824 ft.
- Hasil water cut monitor sumur X, Laju peningkatan nilai water cut setelah pelaksanaan squeeze cementing tidak signifikan atau secepat sebelumnya. (**gambar 2D**).

## KESIMPULAN

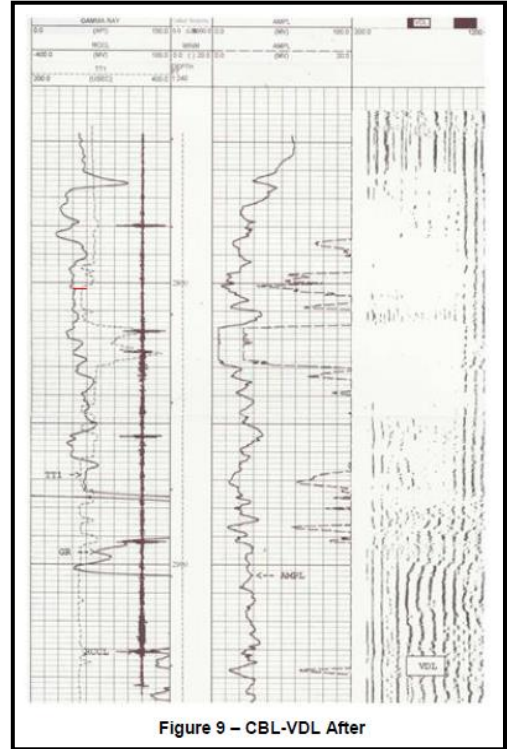
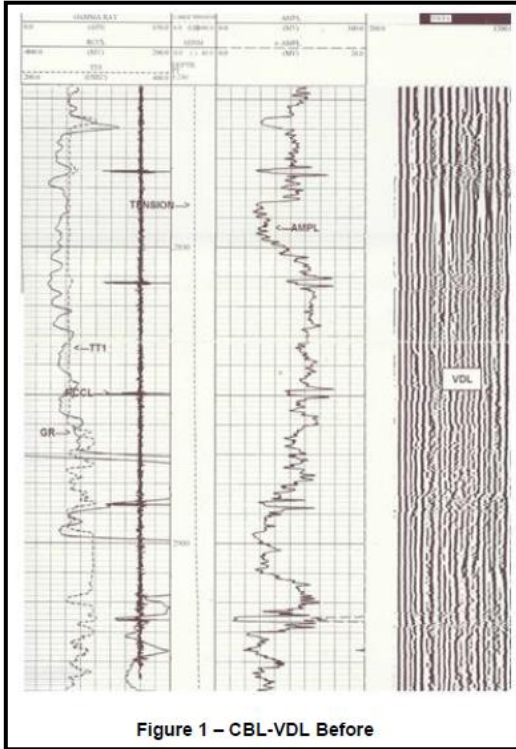
Berdasarkan hasil analisa terhadap studi kasus perencanaan dan pelaksanaan squeeze cementing, dapat disimpulkan bahwa:

- Perencanaan Squeeze Cementing terdiri dari: planning, design, execution, dan evaluation. Hal tersebut perlu dikombinasi dengan kondisi dan pengalaman lapangan, sehingga proses implementasinya tepat untuk mengatasi masalah yang ada.
- Perencanaan metode secara tepat merupakan indikasi keberhasilan dari squeeze cementing.
- Parameter penting yang diperhatikan pada perencanaan desain bubuk semen: jenis semen, *fluid loss*, *thickening time*, densitas semen, yield semen, dan *compressive strength*. Sedangkan, parameter perhitungan *squeeze cementing* yang perlu diperhatikan yaitu: perhitungan volume (bubuk semen, displacement), perhitungan tekanan (*surface breakdown*, tekanan squeeze, tekanan injeksi).
- Berdasarkan studi kasus, Pelaksanaan Squeeze Cementing terbukti berhasil mengatasi masalah *water channeling* atau *water shut-off* pada sumur “X”.

## DAFTAR PUSTAKA

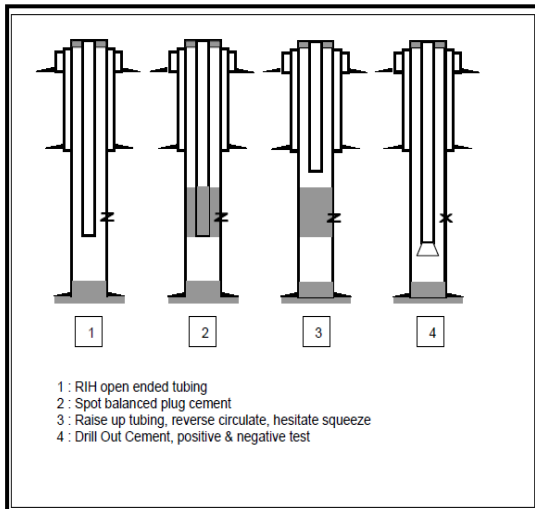
- [1] E. C. Apriliarito, ‘Remedial cementing in limestone formation using bradenhead squeeze: A case history of KS-X22’, Soc. Pet. Eng. - SPE Russ. Oil Gas Tech. Conf. Exhib. 2010, RO G 10, vol. 1, pp. 138–147, 2010.
- [2] E. B. Nelson and D. Guillot, Well Cementing Schlumberger. 2006.
- [3] R. Jones and L. Watters, ‘11 Remedial Cementing’, .
- [4] C. P. T. Companie, Cement Bond Evaluation Guide.pdf. Chevron Petroleum Technology Company, 1993.
- [5] I. R. Rubiandini, Teknik Pemboran 1. Bandung: Institut Teknologi Bandung, 2012.

**Keterangan Gambar**

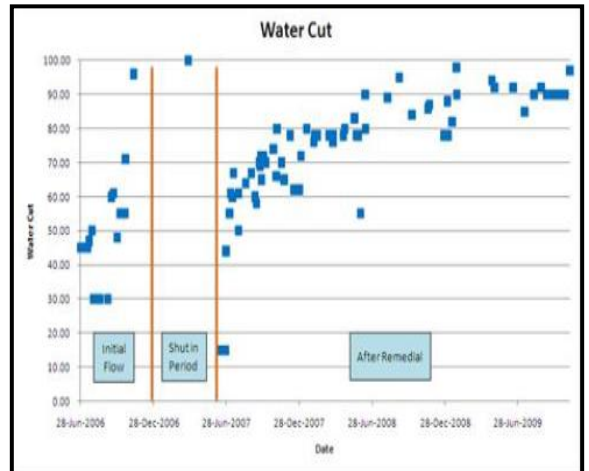


Gambar 2A CBL-VDL Before Remedial Cementing

Gambar 2B CBL-VDL After Remedial Cementing



Gambar 2C. Squeeze Cementing Process



Gambar 2D. Water Cut Monitoring