

Aplikasi Bentonite Lokal Terhadap Nilai *Compressive* dan *Shear Bond Strength* Suspensi Semen Sumur Minyak

Application of Local Bentonite to Compressive Value and Shear Bond Strength for Oil Well Cement Suspension

Idham Khalid ^{1*}, Ali Musnal ¹, Adi Novriansyah ¹, Kurniawan Sitanggang ¹

¹ *Petroleum Department, Universitas Islam Riau, Jl. Kaharuddin Nasution 113, Pekanbaru, Riau, Indonesia*

*Penulis korespondensi : khalididham@eng.uir.ac.id

Tel.: +62813-6548-0707; fax.: +62.761.33664

Diterima: Jul 6, 2020; Direvisi: Okt 14, 2020 Disetujui: Okt 29, 2020

DOI: 10.25299/saintis.2020.vol20(02).5252

Abstrak

Pelaksanaan proses penyemenan yang baik pada sumur minyak merupakan aspek penting yang berpengaruh pada suksesnya produksi minyak ke permukaan. Untuk itu, penggunaan aditif dalam suspensi semen direkomendasikan supaya kualitas suspensi semen tetap stabil selama proses penyemenan berlangsung. Melalui penelitian ini kualitas *bentonite* lokal dan *bentonite* komersial terhadap parameter *compressive strength* (CS) dan *shear bond strength* (SBS) akan dibandingkan. Pengukuran CS dan SBS dilakukan berdasarkan rekomendasi dari American Petroleum Institute (API) pada tujuh buah sampel suspensi semen dengan konsentrasi aditif yang bervariasi. Hasil penelitian terhadap *bentonite* lokal menunjukkan penurunan nilai CS dengan bertambahnya konsentrasi aditif. Konsentrasi optimum *bentonite* lokal adalah 1.6% dengan nilai CS sebesar 1649 psi, 6% dibawah nilai CS untuk sampel suspensi semen dan *bentonite* komersial pada konsentrasi yang sama. Untuk nilai SBS, konsentrasi optimum untuk aditif *bentonite* lokal adalah 4.8% dengan nilai SBS sebesar 439 psi, 21 % diatas nilai SBS untuk sampel semen dengan 4.8% *bentonite* komersial. Dari penentuan nilai CS dan SBS dapat disimpulkan bahwa penggunaan *bentonite* lokal dapat menjadi alternatif pengganti *bentonite* komersial dimana hasil pengukuran CS dan SBS tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan.

Kata Kunci: *Bentonite* Komersial, *Bentonite* Lokal, *Compressive Strength*, *Shear Bond Strength*.

Abstract

The implementation of a good cementing process in oil wells is an important aspect that affects the success of oil production to the surface. For this reason, the use of additives in semen suspension is thought that the quality of the cement suspension remains stable during the cementing process. By doing this research, the quality of local bentonite and commercial bentonite against the parameters of compressive strength (CS) and shear bond strength (SBS) will be compared. CS and SBS measurements were carried out based on recommendations from the American Petroleum Institute (API) on seven cement suspension samples with varying additive concentrations. The results of research on local bentonite showed a decrease in the value of CS with an increase in additive concentration. The optimum concentration of local bentonite is 1.6% with a CS value of 1649 psi, 6% below the CS value for cement and commercial bentonite suspension samples at the same concentration. For the SBS value, the optimum concentration for local bentonite additives is 4.8% with an SBS value of 439 psi, 21% above the SBS value for cement samples with 4.8% commercial bentonite. From the determination of CS and SBS values, it can be shown that the use of local bentonite can be an alternative to commercial sites where the CS and SBS measurement results do not show a significant difference.

Keywords: *Commercial Bentonite*, *Local Bentonite Lokal*, *Compressive Strength*, *Shear Bond Strength*.

PENDAHULUAN

Gagalnya pekerjaan penyemenan untuk mengisolasi formasi batuan dapat menyebabkan penggunaan waktu dan materi yang tidak efisien sehingga kualitas suspensi semen perlu disesuaikan berdasarkan karakteristik formasi batuan yang menjadi target pekerjaan penyemenan [1]. Untuk menjaga kualitas semen agar selalu baik, penambahan aditif kimia tertentu ke dalam suspensi semen perlu diperhatikan sehingga masalah berkaitan dengan penurunan kualitas semen sumur dapat diminimalisir [2].

Berdasarkan standar dari *American Society*

for Testing and Materials (ASTM) C618-93 mengenai standarisasi pengujian material, material dengan kandungan silikon dioksida (SiO₂), Besi (III)Oksida (Fe₂O₃), atau aluminium oksida (Al₂O₃) melebihi 70% dapat digunakan sebagai bahan pengganti semen [3]. Berdasarkan hal tersebut, maka *bentonite* digunakan sebagai aditif dan operasi penyemenan sumur minyak.

Melalui studi laboratorium ini, alternatif penggunaan material lokal sebagai substitusi dari material komersial diperkenalkan. Material yang berupa *bentonite* komersial. Sebagai parameter pembandingan ini diperoleh pada sumberdaya lokal

yang nantinya akan dibandingkan penggunaannya di suspensi semen terhadap *bentonite* komersial. Sebagai parameter pembandingan ini, suspensi semen ini akan diuji untuk mendapatkan nilai *Compressive strength*(CS) dan *Shear Bond Strength*, yang merepresentasikan kemampuan suspensi semen gaya eksternal dan daya ikat suspensi semen terhadap casing dan formasi [4]. Penggunaan *bentonite* lokal ini terbukti efektif dalam menurunkan densitas suspensi semen [5]. Melalui penelitian ini, pengembangan material lokal sebagai aditif pengganti dapat meningkatkan daya saing produk lokal di dunia industri minyak.

Jenis semen Portland kelas G adalah Semen yang dipakai dalam operasi pemboran sumur-sumur minyak dan gas. Semen ini akan mengeras bila bertemu air atau bersifat bersifat hidrolis, di lain sisi waktu pengerasan sumur tersebut dapat direkayasa menurut kebutuhan, sehingga waktu pengerasannya (*thickening time*) semen bisa direncanakan dalam operasi penyemenan untuk setiap kedalaman sumur yang bervariasi.

Fungsi Semen Pemboran

Fungsi utama semen pemboran adalah untuk megisolasi lubang annulus antara dinding *borehole* dengan casing agar tidak terjadi hubungan antar lapisan formasi, sebagai contoh air formasi tidak merembes melalui annulus formasi minyak bagian atasnya yang sedang berproduksi, atau gas dari formasi di atasnya tidak merembes ke formasi minyak di bawahnya.

Komposisi Semen Pemboran

Bubur semen atau suspensi semen terdiri dari semen dasar itu sendiri dan aditif tambahan yang digunakan pada suatu operasi penyemenan sumur pemboran. Semen dasarnya adalah semen Portland dan air, sedangkan komponen tambahannya adalah satu atau beberapa macam aditif yang dapat menjadikan semen pemboran memiliki sifat khusus yang sesuai dengan keadaan lubang bor.

Klasifikasi Semen Portland

Klasifikasi telah dilakukan oleh API untuk semen ke dalam beberapa kelas agar dapat mempermudah pemilihan dan penggolongan semen yang akan digunakan. Kondisi sumur dan sifat-sifat semen merupakan dasar dari penentuan Pengklasifikasian tersebut. Data yang akan digunakan kedalaman sumur, tekanan, temperatur, dan senyawa kimia yang terdapat pada fluida formasi, juga berdasarkan atas sifat-sifat semen yang disesuaikan dengan keadaan sumur. API mengurutkan klasifikasi semen tersebut dari kelas A hingga H.

Kelas A : dimaksudkan untuk digunakan dari permukaan hingga kedalaman 6000 ft

(1830 m), dimana sifat-sifat dari sumur tidak dibutuhkan. Tersedia hanya tipe yang biasa (mirip dengan ASTM C 150 Type I).

Kelas B: Dimaksudkan untuk digunakan mulai dari permukaan hingga kedalaman 6.000 ft (1830 m), ketika kondisi membutuhkan ketahanan terhadap sulfat menengah hingga tinggi. Tersedia keduanya untuk moderat (mirip dengan ASTM C 150, Type II) dan tipe tahan terhadap sulfat dengan konsentrasi yang tinggi (*high sulfate-resistant*).

Kelas C: Dimaksudkan untuk digunakan mulai dari permukaan hingga kedalaman 6.000 ft (1830 m), ketika kondisi membutuhkan *high early strength* (kekerasan semen lebih awal). Tersedia tipe biasa dan moderat (mirip dengan ASTM C 150, Type III) dan tipe high sulfate-resistant.

Kelas D: Dimaksudkan untuk digunakan dari kedalaman 6.000 ft hingga 10.000 ft (1830 m hingga 3050 m). Dalam kondisi tekanan dan temperature cukup tinggi. Dapat digunakan baik untuk tipe *sulfate-resistant* menengah maupun tinggi.

Kelas E: Dimaksudkan untuk digunakan mulai kedalaman 10.000 ft hingga 14.000 ft (3050 m hingga 4270 m), dalam kondisi tekanan dan temperatur yang tinggi. Dapat digunakan pada tipe *high-sulfate resistant* moderat maupun tinggi.

Kelas F: Dimaksudkan digunakan untuk kedalaman 10.000 ft hingga 16,000 ft (3050 m hingga 4880 m), dalam kondisi tekanan dan temperatur sangat tinggi (*extreme*). Dapat digunakan pada tipe *high-sulfate resistant* moderat maupun tinggi.

Kelas G: Dimaksudkan untuk digunakan sebagai semen dasar dari permukaan hingga kedalaman 8.000 ft (2400 m) saat diproduksi, atau dapat digunakan bersama akselerator dan retarder untuk mencakup berbagai macam kedalaman dan temperatur sumur. Tidak ada penambahan selain kalsium sulfat atau air atau keduanya, harus dicampur dengan clinker selama prosen pembuatan semen kelas G tersebut. Dapat digunakan pada tipe *high-sulfate resistant* moderat maupun tinggi.

Kelas H: Dimaksudkan untuk digunakan sebagai semen dasar dari permukaan hingga kedalaman 8.000 ft (2400 m) saat diproduksi, dan dapat juga digunakan bersama akselerator dan retarder untuk mencakup berbagai macam kedalaman

dan temperatur sumur. Tidak ada penambahan selain kalsium sulfat atau air atau keduanya, harus dicampur dengan clinker selama prosen pembuatan semen kelas G tersebut. Hanya digunakan pada tipe *high-sulfate resistant* moderat.

Aditif Semen

Material-material yang ditambahkan diekan dengan Aditif semen atau zat-zat tambahan pada semen direkayasa untuk memberi variasi yang lebih luas pada sifat-sifat suspensi semen agar memenuhi prasyarat yang diinginkan. Sudah lebih dari 100 aditif yang telah diaplikasikan dalam operasi penyemenan di dunia perminyakan dari awal industri ini sampai sekarang ini. Aditif-aditif tersebut dominannya berbentuk bubuk yang dapat dicampur dengan bubuk semen, lalu diaduk dengan air. Kuantitatif aditif pada suspensi semen cenderung dinyatakan dalam % BWOC (*by weight on cement*) atau persen berat bubuk semen.

Akselerator

Untuk mempercepat waktu pengerasan semen (*thickening time cement*) aditif yang digunakan dikenal dengan adalah akselerator. Dengan keadaan sumur-sumur dangkal dengan temperatur yang rendah yang akan dilakukannya operasi penyemenan, sehingga pengerasan semennya perlu dipercepat. Istilah *Early strength* pada semen akan dapat dipercepat dengan menggunakan akselerator, *strength* dengan kekuatan 500 psi dalam waktu 4 jam akan dapat dicapai. *Strength* sebesar 500 psi ini umumnya dianggap bahwa semen telah dapat mengikat dengan baik pada casing, sehingga pekerjaan-pekerjaan selanjutnya dapat dilaksanakan. Berikut adalah contoh aditif yang digunakan sebagai akselerator seperti gypsum, Kalsium Klorida (CaCl₂) 2-6%, sodium silikat 5-10 %, Cal-Seal, KCl, dan air laut.

Retarder

Retarder merupakan zat aditif yang digunakan untuk memperlambat waktu pengerasan semen, dengan demikian maka waktu pemompaan dapat diperpanjang. Aplikasi untuk aditif *Retarder* ini umum digunakan pada sumur minyak dengan kedalaman antara 6,000 s/d 25,000 ft, bersamaan dengan temperatur statik di dasar sumur tersebut dapat mencapai 170 s/d 500°F. Penambahan *retarder* pada bubuk semen murni agar mencegah semen mengeras dengan cepat, dalam hal ini retarder yang digunakan haruslah dipilih agar benar-benar cocok dengan material penyusun semen itu sendiri. Biasanya aditif yang digunakan sebagai retarder adalah sebagai berikut: Borax (0,1 - 0,5 %), Carboxymethyl Hydroxyethyl Cellulose (0,1 - 1,5 %), Lignin (0,1 - 1,0 %), Calcium

Lignosulfonate (0,1 - 2,5 %), *Saturated salt* (14 - 16 lb per sack semen).

Extender

Extender merupakan aditif yang digunakan untuk menaikkan volume suspensi semen yang seiring dengan menurunkan berat atau densitas dari bubuk semen. *Extender* dan air merupakan bahan yang umum digunakan pada suspensi semen. Yang dapat digolongkan sebagai aditif *extender* antara lain adalah *bentonite*, *attapulgite*, *gilsonite*, *perlit*, dan *pozzolan*. Penambahan *bentonite* bersifat banyak menyerap air, sehingga volume suspensi semen bertambah dengan tanpa menambah jumlah semen. Untuk setiap penambahan 1% bentonite ditambahkan pula 5,3% air (BWOC), hal ini merupakan rekomendasi dari API, yang berlaku untuk semua kelas semen. Dengan penambahan *bentonite* maka *yield* semen naik, *compressive strength* menurun, permeabilitas naik, viskositas naik dan biaya lebih murah.

Densitas

Densitas suspensi semen dapat didefinisikan sebagai perbandingan antar jumlah berat bubuk semen, air pencampur dan aditif terhadap jumlah volume bubuk semen, air pencampur, dan aditif.

Densitas suspensi semen sangat berpengaruh terhadap tekanan hidrostatik suspensi semen di dasar lubang sumur. Jika formasi tidak sanggup menahan tekanan suspensi semen/hidrostatik tersebut, maka akan menyebabkan lapisan formasi pecah, sehingga akan terjadilah *lost circulation*. Densitas dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$D_{bs} = \frac{G_{bk} + G_w + G_a}{V_{bk} + V_w + V_a} \quad (1)$$

Dimana:

- D_{bs} = Densitas bubuk semen (gr/cm³)
- G_{bk} = Berat semen (gr)
- G_w = Berat air (gr)
- G_a = Berat aditif (gr)
- V_{bk} = Volume semen (cc)
- V_w = Volume air (cc)
- V_a = Volume aditif (cc)

Thickening Time

Thickening time adalah waktu yang diperlukan suspensi semen untuk mencapai konsistensi sebesar 100 Uc (*Units of Consistency*). Pada keadaan ini merupakan Konsistensi merupakan batasan bagi suspensi semen masih dapat dipompakan. Dalam penyemenan, sebenarnya yang dimaksud dengan konsistensi adalah kekentalan/viskositas, namun dalam pengukurannya ada sedikit perbedaan prinsip. Harga konsistensi yang dinyatakan dalam Uc (*Units of Consistency*), yang diukur dengan *Consistometer* ini merupakan harga viscositas dari suspensi

semen. Alat *Rheometer*, atau *Fann VG Meter* dapat digunakan untuk menentukan harga viskositas plastik (Vp) suspensi semen di laboratorium.

Compressive Strength dan Shear

Kekuatan/*Strength* pada semen biasanya terbagi dua, yaitu *compressive strength* dan *shear strength*. *Compressive strength* didefinisikan sebagai kekuatan semen dalam menahan tekanan yang berasal dari selung/*casing* maupun dari formasi maupun. Sedangkan *shear strength* didefinisikan sebagai kekuatan ikatan/*bond* semen dalam menahan berat casing. Dengan kata lain *compressive strength* semen menahan tekanan-tekanan dari arah horizontal dan *shear strength* semen menahan/mengikat tekanan-tekanan dari arah vertikal.

Dalam pengukurannya *compressive strength* lebih sering dilakukan daripada *shear strength*. Pada umumnya *compressive strength* memiliki harga 8 - 10 kali lebih besar dari harga *shear strength*. Pengujian *compressive strength* dilakukan di laboratorium dengan menggunakan alat *Curing Chamber* dan *Hydraulic Mortar*.

Rheology Bubur Semen

Rheology adalah hubungan antara laju aliran rata-rata (*shear rate*), dengan tekanan aliran (*shear stress*) yang menyebabkan pergerakan semen tersebut. penyelidikan mengenai aliran fluida serta pembentukan fluida/semen, hal ini dapat juga diukur dengan menggunakan alat *Rheometer*, atau *Fann VG Meter*.

Primary Cementing

Dalam metode konvensional penyemenan casing, bubur semen dipompa ke bawah pipa pemboran, diikuti dengan *cementing plug* yang ditempatkan pada *cementing shoe* atau *collar shoe* yang dipasang satu atau beberapa sambungan di bagian bawah. Penyemenan casing konvensional menggunakan float shoe di bagian bawah dan kerah pelampung di atas untuk memungkinkan colokan ke dudukan.

Penyemenan dengan diameter yang lebih besar membutuhkan banyak waktu dan dapat menyebabkan pipa *collapse* karena tekanan diferensial tinggi yang berlebihan yang dihadapi selama proses perpindahan.

Squeeze Cementing

Squeeze cementing adalah proses memaksa/memas bubur semen melalui lubang di casing ke dalam annulus. Tujuan utama dalam *squeeze cementing* adalah untuk mengembangkan segel di lubang sumur antara interval formasi yang selama uji produksi menunjukkan tanda-tanda komunikasi yang dapat merugikan.

Squeeze cementing dapat digunakan:

- Untuk memperbaiki pekerjaan penyemenan primer yang rusak. Masalah akibat penyaluran atau pengisian yang tidak mencukupi pada pekerjaan penyemenan utama sering diatasi dengan *Squeeze cementing*.
- Untuk mengontrol aliran air. Air dapat diperas di bawah pasir minyak untuk membantu mengurangi rasio air / minyak.
- Untuk memperbaiki kebocoran casing. Semen dapat digunakan untuk memperbaiki kebocoran akibat keausan atau korosi.
- Untuk mengontrol GOR tinggi. Dengan mengisolasi zona minyak dari zona gas yang berdekatan, GOR biasanya bisa ditingkatkan, yang akan membantu meningkatkan produksi minyak jika permeabilitas vertikal dapat diabaikan.
- Untuk menutup zona tertentu.

METODOLOGI

Material yang perlu dipersiapkan dalam studi ini adalah *bentonite* lokal, *bentonite* komersial, semen, dan *aquadest*. *Bentonite* lokal ini didapatkan pada lokasi eksploitasi di Kotamadya Pekanbaru, Provinsi Riau, Indonesia. Semen yang digunakan tipe "*G-class*" yang digunakan pada pada pekerjaan penyemenan sumur minyak [6].

Tabel 1. Komposisi Kimia *Bentonite* Komersial (9)

Komponen Kimia	Komposisi (% berat)
SiO ₂	48.35
Al ₂ O ₃	12.15
Fe ₂ O ₃	8.26
Na ₂ O	3.65
K ₂ O	2.39
CaO	6.68
MgO	5.47

Sebagai pembanding, *bentonite* yang biasa digunakan dalam pembuatan lumpur untuk operasi pengeboran sumur minyak. *Bentonite* ini di dapatkan dari Wyoming, Amerika serikat dengan total komposisi SiO₂ dan Al₂O₃ mencapai 48% dan 12.15% (Tabel 1). Komponen kimia *bentonite* lokal ini dapat dilihat pada Tabel 2. *Bentonite* lokal ini mengandung lebih dari 45% SiO₂ dan 25% Al₂O₃.

Peralatan yang dipakai pada studi ini meliputi gelas ukur dari *pyrex* (Singapura), Timbangan Digital dari *Amstech* (East Sussex, Inggris), *Mixer Cement* dari *Hamilton Beach* (*North Carolina*, Amerika serikat), *stopwatch Casio* (Tokyo, Jepang), *Mud balance Fann* (Texas, Amerika Serikat), *Fann Vg meter* dari Fann (Texas, Amerika Serikat), *water bath* sebagai pengatur suhu, peralatan *hydraulic set*, dan *calipers*.

Tabel 2. Komposisi Kimia Bentonite Lokal

Komponen Kimia	Komposisi (% berat)
Karbon, C	20.73
Alumina, Al ₂ O ₃	25.41
Silika Dioksida, SiO ₂	46.78
Kalium Oksida, K ₂ O	1.67
Titanium Dioksida, TiO ₂	0.85
Besi (II) Oksida, FeO	3.15
Tembaga (II) Oksida, CuO	1.41

Prosedur eksperimen dimulai dari proses mempersiapkan *bentonite* lokal menjadi *aditif* semen dengan mengeringkan Bahan baku *bentonite* lokal di dalam oven pada suhu 100°C supaya molekul air dalam *bentonite* mengalami evaporasi dalam keluar dari fasa solid. *Bentonite* kering ini dihaluskan untuk mendapatkan ukuran *bentonite* lokal yang lebih kecil. Akhirnya, *bentonite* lokal yang sudah dihaluskan ini diayak dengan menggunakan *sieve shaker* untuk mendapatkan ukuran *bentonite* yang seragam.

Prosedur pembuatan semen dimulai dengan mencampurkan bubuk semen dan *bentonite* lokal ke dalam *mixer cup* yang sudah diisi oleh *aquadest*. Hidupkan *mixer* pada kecepatan rendah selama 15 menit dan masukkan semen, *bentonite* lokal, dan *bentonite* komersial dengan komposisi sebagai pada Tabel 3 dimana komposisi semen dasar (SD) terdiri atas 350 gr bubuk semen dan 213 ml air (213 gr air; densitas air 1 gr/ml). Lanjutkan dengan mengaduk campuran suspensi semen dengan kecepatan medium selama 1 jam hingga didapatkan campuran semen yang rata. Tuangkan suspensi semen ke dalam cetakan dan keringkan selama 24 jam di dalam oven dengan temperatur 100°C untuk memastikan fasa cairan tidak terperangkap didalam suspensi semen.

Tabel 3. Komposisi Suspensi Semen Yang Diujikan

Sampel	Massa (gr)			
	Bubuk Semen	Air	<i>Bentonite</i> Komersial	<i>Bentonite</i> Lokal
SD + 0% Aditif	350	213	0.00	0.00
SD + 1.7% Aditif	350	213	9.57	0.00
SD + 1.7% Aditif	350	213	0.00	9.57
SD + 3.4% Aditif	350	213	19.14	0.00
SD + 3.4% Aditif	350	213	0.00	19.14
SD + 5.1% Aditif	350	213	28.71	0.00
SD + 5.1% Aditif	350	213	0.00	28.71
SD + 6.8% Aditif	350	213	38.28	0.00
SD + 6.8% Aditif	350	213	0.00	38.28
SD + 8.5% Aditif	350	213	47.86	0.00
SD + 8.5% Aditif	350	213	0.00	47.86
SD + 10.2% Aditif	350	213	57.43	0.00
SD + 10.2% Aditif	350	213	0.00	57.43

Prosedur pengujian CS dan SBS dimulai dengan membersihkan peralatan *Hydraulic press*. (Gambar 1) Untuk Pengujian GS, sampel semen yang sudah dikeringkan dibersihkan dari tetesan air pasir hasil gerusan agar tidak menempel pada *bearing block*. Permukaan Sampel harus dipastikan

rata dan gunakan gerinda. Letakkan Sampel semen pada diatas *bearing block* bagian bawah. Hidupkan motor penggerak pompa dan lakukan pembebanan pada sampel diantara 20 dan 80 detik. Catat hasil pembebanan maksimum, yaitu pada pembebanan pada saat Sampel mengalami retakan. Hitung CS dengan menggunakan persamaan:

$$CS = k \times P \times \frac{A_1}{A_2} \quad (2)$$

CS adalah *compressive strength* semen dalam satuan *pound per square inch* (psi). k adalah faktor koreksi yang pada rasio tinggi (H) terhadap Diameter dalam (D) dari *mold*(cetakan) semen (tabel 4). P adalah pembebanan maksimum yang diberikan ke peralatan *Hydraulic press* (psi). A₁ merupakan luas penampang *bearing block* pada peralatan *Hydraulic press* (dalam satuan inch²). A₂ adalah luas permukaan sampel semen dalam satuan inch².

Pengukuran SBS juga dilakukan dengan menggunakan peralatan *Hydraulic press*. Prosedur tahap awal dari pengukuran parameter ini sama dengan prosedur pengukuran SBS. Yang membedakan adalah sampel yang dipersiapkan berbentuk silinder sedangkan sampel berbentuk yang digunakan untuk pengukuran CS dipersiapkan dalam cetakan berbentuk kubus (Gambar 2). Letakkan Sampel semen pada silinder *mold* (Gambar 3) dan tempatkan silinder *mold* tersebut penyangga yang didudukkan di *bearing block* bagian bawah. Pastikan posisi sampel dalam keadaan tegak vertikal. Posisikan batang pendorong (Gambar 3) diatas permukaan sampel dan turunkan *bearing block* bagian atas dengan mengoperasikan pompa hidrolik. Perkirakan laju pembebanan sampai maksimum diantara 20 detik sampai 80 detik. Lakukan pembebanan sampai sampel bergeser dari silinder *mold*.

Catat pembebanan pada saat sampel bergeser sebagai pembebanan maksimum. SBS dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$SBS = k \times p \times \frac{A_1}{\pi \times D_{in} \times h_s} \quad (3)$$

D_{in} adalah dimeter dalam silinder *mold* (inch)
h_s adalah tinggi Sampel semen.

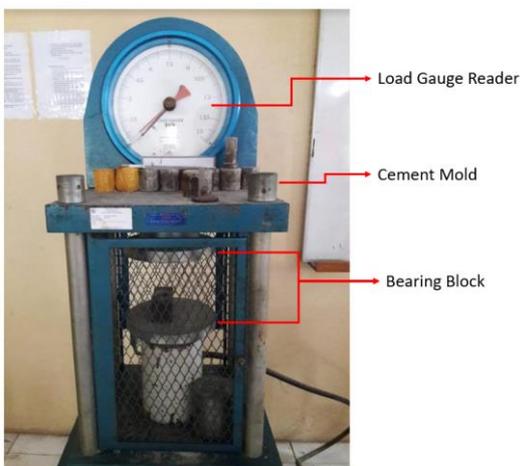
Tabel 4. Koefisien k Untuk Berbagai Rasio H dan D

H/D	Faktor koreksi k
1.75	0.98
1.5	0.96
1.25	0.93
1	0.87

HASIL DAN PEMBAHASAN

Nilai parameter CS untuk setiap sampel diplot terhadap konsentrasi aditif untuk *bentonite* lokal dan komersial. Gambar 4 menampilkan perbandingan hasil plot untuk aditif *bentonite* komersial dan *bentonite* lokal. Dari hasil pengukuran nilai CS terhadap semua sampel, Nilai CS masih berada diatas ambang minimum (garis hitam putus - putus) nilai CS yang untuk operasi penyemenan sumur minyak menurut *American Petroleum Institute* (API) [6].

Hal Ini pertanda bahwa sampel semen tersebut berada dalam batas aman untuk menahan beban *compressive* yang berasal dari formasi di sekeliling sumur.



Gambar 1. Peralatan *Hydraulic press*

Gambar 4 mengindikasikan adalah tren penurunan nilai CS pada rentang konsentrasi 1.7 % hingga 5.1% untuk additif *bentonite* komersial dan 1.7 % hingga 6.8 % untuk aditif *bentonite* lokal. Trend CS cenderung meningkat ketika konsentrasi aditif ditingkatkan sampai 10.2% untuk kedua macam tipe *bentonite*.



Gambar 2. Cetakan semen berbentuk kubus

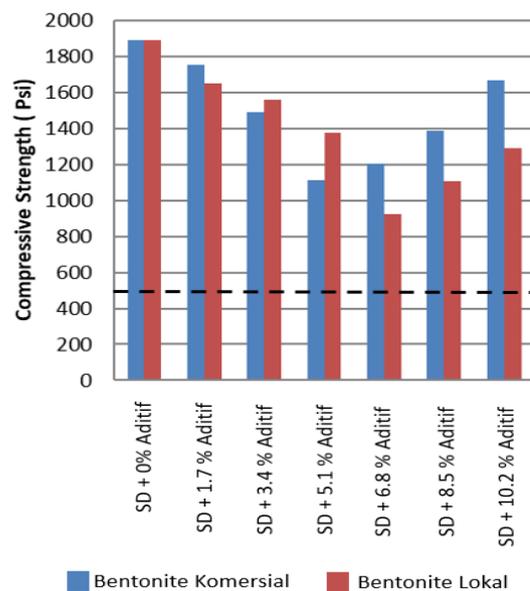
Perbandingan hasil pengukuran SBS untuk semua sampel semen dengan variasi penambahan aditif *bentonite* komersial dan lokal dapat dilihat pada Gambar 5. Hasil pengukuran SBS untuk semua sampel semen menghasilkan nilai SBS yang berada diatas batas ambang minimum dari nilai SBS yang direkomendasikan API, yang ditandai oleh garis hitam putus-putus [6].

Pola Gambar 5 memperlihatkan ada peningkatan nilai SBS untuk sampel dengan rentang penambahan aditif 1.7% hingga 5.1%. Pola tersebut terjadi untuk kedua tipe *bentonite*.



Gambar 3. Cetakan Silinder, Silinder *Mold*, dan Batang Pendorong

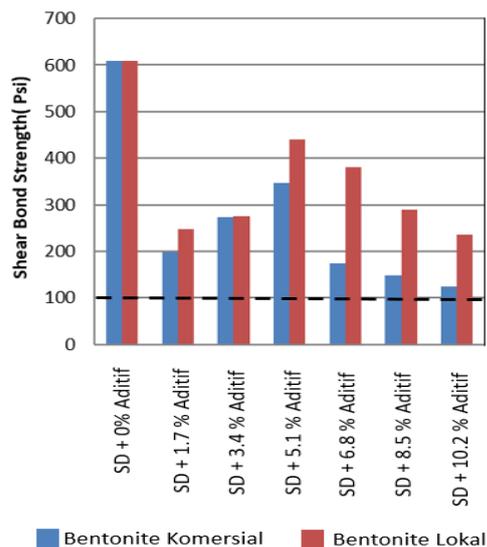
Dengan mengkombinasikan nilai CS dan SBS, kondisi optimum dapat diperoleh untuk sampel dengan komposisi SD ditambah 5.1% aditif dimana komposisi menghasilkan kombinasi nilai CS dan SBS yang cukup baik. Berdasarkan keadaan tersebut, komposisi tersebut dipilih sebagai komposisi optimum. Penambahan aditif diatas konsentrasi diatas kondisi optimum tidak direkomendasikan karena nilai SBS yang didapatkan lebih rendah. Rendahnya SBS dapat berpengaruh kepada rendahnya daya ikat semen terhadap permukaan casing pada sumur minyak.



Gambar 4. Perbandingan nilai CS untuk setiap sampel suspense semen dengan variasi penambahan aditif *bentonite* komersial dan *bentonite* lokal.

Dari hasil pengukuran CS dan SBS dapat disimpulkan bahwa penggunaan *bentonite* lokal bisa menggantikan fungsi aditif dan *bentonite* yang sudah dikomersialkan dalam industry minyak dan

gas bumi. Melalui hasil riset ini, *bentonite* lokal dapat dikembangkan industry untuk meningkatkan nilai ekonomi material tersebut. Selain itu, dengan adanya industry yang mengolah *bentonite* lokal ini akan menabuh peluang kerja bagi masyarakat di sekitar lokasi sumber daya.



Gambar 5. Perbandingan hasil plot SBS pada semua sampel dengan variasi penambahan aditif untuk *bentonite* komersial dan *bentonite* lokal.

KESIMPULAN

Melalui studi laboratorium ini, efektivitas penggunaan *bentonite* lokal sebagai aditif dalam operasi penyemenan pada sumur minyak. Sebagai CS dan SBS digunakan sebagai parameter perbandingan seberapa efektif *bentonite* lokal dapat mengimbangi kinerja *bentonite* komersial yang biasa digunakan dalam industri. Perbandingan CS dan SBS antara *bentonite* lokal dan komersial memperlihatkan bahwa *bentonite* lokal mampu bersaing dengan kinerja aditif *bentonite* komersial. Pada pengukuran CS, kinerja *bentonite* komersial lebih baik daripada *bentonite* lokal. Sebaliknya, *bentonite* kinerja *bentonite* lokal dapat melebihi *bentonite* komersial pada pengukuran SBS. Kondisi optimum didapat pada pengukuran sampel dengan penambahan *bentonite* lokal sebesar 5.1%. penambahan aditif diatas konsentrasi tersebut tidak direkomendasikan karena akan berpengaruh pada nilai SBS yang cenderung menurun. Melalui hasil ini *bentonite* lokal mempunyai peluang menjadi aditif semen pada operasi penyemenan sumur minyak. Pengembangan aditif dari *bentonite* lokal ini dapat meningkatkan perekonomian disekitar daerah bahan baku.

REFERENSI

[1] K. J. Goodwin dan R. Crook, "Cement Sheath Stress Failure," *SPE Drilling Engineering*, pp. 291-296, 1992.

[2] J. D. Mangadlao, P. Cao dan R. C. Advincula, "Smart Cements and cement Additives for oil," *Journal of Petroleum Science and Engineering*, vol. 129, pp. 63-76, 2015.

[3] R. Siddique, "Properties of concrete made with volcanic ash," *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 66, pp. 40-44, 2012.

[4] A. Novriansyah, Novrianti, Mursyidah dan S. C. Hadiguna, "An Experimental Study on Effect of Palm Shell Waste Additive to Cement Strenght Enhancement," *Journal of Geoscience, Engineering, Environment, and Technology*, vol. 2, pp. 64-68, 2017.

[5] A. Samsuri, R. Junin dan A. M. Osman, "The Utilization of Malaysian Local Bentonite as an Extender and Free Water Controller in Oil-Well Cement Technology," *Society of Petroleum Engineers*, vol. SPE 68674, 2001.

[6] J. Bensted, "Oilwell cement standards - an update," *WORLD CEMENT*, pp. 38-44, 1992.

[7] Novrianti, "Studi Laboratorium Pengaruh Nanocomposite Nanosilika dan Arang Cangkang Kelapa Sawit Dengan Variasi Temperatur Pemanasan Terhadap Free Water dan Kekuatan Semen Pemboran," *Journal of Earth Energy Engineering*, vol. 5, no. 1, pp. 21-27, 2016.

[8] T. P. Negara dan A. Hamid, "PENGARUH PENAMBAHAN ACCELERATOR "KCl", "Na₂SiO₃", DAN "CALSEAL" SEBAGAI ADDITIVE SEMEN KELAS A TERHADAP THICKENING TIME, COMPRESSIVE STRENGTH, DAN RHEOLOGY BUBUR SEMEN DENGAN VARIASI TEMPERATUR (BHCT) DI LABORATORIUM PEMBORAN DAN PRODUKSI UNIVERSITAS TRIS," 2015.

[9] A. Tabak, B. Afsin, B. Caglar dan E. Koksall, "Characterization and pillaring of a Turkish bentonite (Resadiye)," *Journal of Colloid and Interface Science*, vol. 313, pp. 5-11, 2007.

[10] M. A. Mahasneh dan S. K. Saleh, "Evaluation of Jordanian Bentonite Performance for Drilling Fluid Applications," *Contemporary Engineering Sciences*, vol. 5, no. 3, pp. 149 - 170, 2012.

[11] J. Bensted, "Oilwell Cement-Standards in Current Use," *World Cement*, vol. 19, pp. 310-15, 1988.

[12] S. Rordam dan C. Willson, "Sulphate-resistant Cement," *AMERICAN INSTITUTE OF MINING AND METALLURGICAL ENGINEERS*, vol. 1029, 1938.

- [13] F. G. CLAPP, "Geology of Cement Oil Field," *New York Meeting*, pp. 156-164, 1920.
- [14] K. Goodwin, "OILWELL/GASWELL CEMENT-SHEATH EVALUATION," *Journal of Petroleum Technology*, pp. 1339-1343, 1997.
- [15] P. Clark, L. Sundaram dan M. Balakrishnan, "Yield Points in Oilfield Cements," *Society of Petroleum Engineers*, vol. 21689, pp. 537-543, 1991.

NOMENKLATUR

CS	<i>Compresssive Strength</i>
SBS	<i>Shear Bond Strength</i>
SD	Semen Dasar (<i>Basic Cement</i>)