

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Fungsi Semen Pemboran

Fungsi utama dari semen pemboran tersebut ialah untuk menyekat lubang annulus dengan selubung baja agar tidak terjadi kontak antar lapisan batuan seperti air formasi tidak merembes melalui annulus ke lapisan minyak bagian atasnya yang sedang berproduksi atau gas dari lapisan di atasnya tidak merembes ke lapisan minyak yang ada di bawahnya.

Holden (1962) menyatakan bahwa secara umum fungsi semen pemboran adalah sebagai berikut^[5]:

1. melekatkan selubung baja dengan dinding formasi agar kokoh dan kuat sehingga dapat berfungsi dengan sempurna,
2. melindungi selubung baja dari pengaruh lingkungan sekitarnya yang dapat merusak selubung baja seperti temperatur, tekanan yang tinggi dari formasi dan korosifitas dari fluida formasi,
3. mengisolasi daerah di belakang selubung baja sehingga tidak terjadi komunikasi antar daerah, dan
4. mencegah penyusupan gas atau fluida formasi bertekanan tinggi ke ruang antar selubung baja dengan formasi.

Untuk maksud di atas maka semen pemboran harus memenuhi beberapa syarat antara lain:

1. mudah dipompakan dan diset-set pada tempat yang diinginkan,
2. dalam waktu tertentu, semen harus mempunyai kekuatan yang besar serta daya ikat yang baik dengan formasi,
3. semen tidak mudah terkena kontaminasi kotoran-kotoran lain,
4. kekuatan semen tersebut harus tetap stabil serta tidak mudah berubah dalam beberapa tahun, dan
5. bersifat impermeable yaitu tidak dapat mengalirkan atau dialiri fluida.

2.2. Bahan Pokok Penyusun Semen

Dari keempat fasa-fasa kristal yang merupakan bahan-bahan pokok penyusun semen Portland mempunyai fungsi masing-masing, yaitu^[6]:

1. Trikalsium silikat

Trikalsium silikat ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) dinotasikan sebagai C_3S yang dihasilkan dari kombinasi CaO dan SiO_2 . Komponen ini merupakan yang terbanyak dalam semen Portland, sekitar 40-45 % untuk semen yang lambat proses pengerasannya dan sekitar 60-65 % untuk semen yang cepat proses pengerasannya. Komposisi C_3S pada semen memberikan kekuatan terbesar pada awal pengerasan.

2. Dikalsium silikat

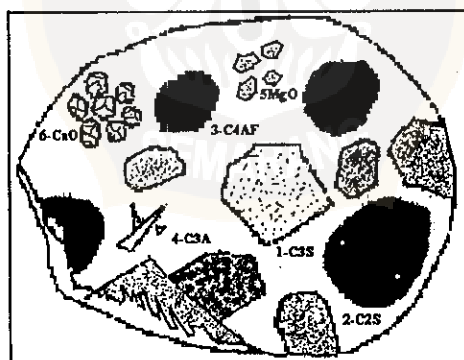
Dikalsium silikat ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) dinotasikan sebagai C_2S yang juga dihasilkan dari kombinasi CaO dan SiO_2 . Komponen ini sangat penting dalam memberikan kekuatan akhir semen, karena C_2S hidrasinya lambat maka tidak berpengaruh pada saat pengesetan semen akan tetapi sangat menentukan dalam kekuatan semen lanjut. Kadar C_2S dalam semen tidak lebih dari 20 %.

3. Trikalsium aluminat

Trikalsium aluminat ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$) dinotasikan sebagai C_3A yang terbentuk dari reaksi antara CaO dan Al_2O_3 . Walaupun kadarnya lebih kecil dari komponen silikat (sekitar 15 % untuk semen yang lambat pengerasannya dan sekitar 3 % untuk semen yang tahan terhadap sulfat), namun berpengaruh pada reologi suspensi semen dan membentuk pengerasan awal pada semen.

4. Tetrakalsium aluminoferrit

Tetrakalsium aluminoferrit ($4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$) dinotasikan sebagai C_4AF yang terbentuk dari reaksi CaO , Al_2O_3 dan Fe_2O_3 . Komponen-komponen ini hanya sedikit pengaruhnya pada kekuatan semen. API menjelaskan bahwa kadar C_4AF ditambah dengan dua kali kadar C_3A tidak boleh lebih dari 24 % untuk semen yang tahan terhadap sulfat dan menurunkan kadar C_3A yang berfungsi menurunkan panas hasil reaksi/hidrasi C_3S dan C_2S .



Gambar 2.1. Komponen utama semen klas G

2.3. Klasifikasi Semen Portland

API (*American Petroleum Institute*) telah melakukan pengklasifikasian semen ke dalam beberapa kelas, guna mempermudah pemilihan dan penggolongan semen yang akan digunakan. Pengklasifikasian ini didasari atas kondisi sumur dan sifat-sifat semen yang disesuaikan dengan kondisi sumur meliputi kedalaman sumur, temperatur, tekanan dan kandungan yang terdapat pada fluida formasi (seperti sulfat dan sebagainya).

Komposisi keempat komponen tersebut pada beberapa semen bervariasi, sesuai dengan kelas semennya^[7,8].

Tabel 2.1. Klasifikasi semen Portland^[7]

	A	B	C	D,E,F	G	H
<i>ORDINARY TYPE (O)</i>						
magnesium oksida (MgO), maks (%)	6	-	6	-	-	-
sulfur trioksida (SO ₃), maks (%)	3,5	-	4,5	-	-	-
trikalsium aluminat(C ₃ A), maks (%)	-	-	15	-	-	-
<i>MODERATE SULFATE-RESISTANT TYPE (MSR)</i>						
magnesium oksida (MgO), maks (%)	-	6	6	6	6	6
sulfur trioksida (SO ₃), maks (%)	-	3	3,5	3	3	3
trikalsium silikat, maks (%)	-	-	-	-	58	58
trikalsium aluminat, maks (%)	-	8	8	8	8	8
<i>HIGH SULFATE-RESISTANT TYPE (HSR)</i>						
magnesium oksida (MgO), maks (%)	-	6	6	6	6	6
sulfur trioksida (SO ₃), maks (%)	-	3	3,5	3	3	3
trikalsium silikat (C ₃ S), maks (%)	-	-	-	-	65	65
trikalsium aluminat (C ₃ A), maks (%)	-	3	3	3	3	3
tetrakalsium aluminoferrit + 2 trikalsium aluminat, maks (%)	24	24	24	24	24	24

2.4. Sifat Semen

Sifat semen pemboran dalam kondisi bubur semen adalah^[9]:

a. Densitas

Densitas bubuk semen ditentukan oleh perbandingan campuran air dan bubuk semen, makin tinggi kadar air maka semakin rendah harga densitasnya.

b. Rasio kandungan air

Rasio kandungan air merupakan perbandingan jumlah air dan bubuk semen yang dicampurkan untuk mendapatkan sifat bubuk semen yang diinginkan.

c. *Yield*

Yield adalah jumlah kandungan semen yang dicampurkan dengan air untuk mendapatkan perbandingan tertentu.

d. Viskositas/ konsistensi

Harga konsistensi dipengaruhi oleh kadar air dalam bubuk semen dan dapat pula diubah dengan menambahkan aditif.

e. Waktu pengejalan

Waktu pengejalan adalah waktu yang diperlukan bagi bubuk semen untuk mencapai harga konsistensi 100 poise yang merupakan batas bubuk semen tidak dapat dipompakan lagi.

f. Kandungan air bebas

Hal ini terjadi bilamana bubuk semen dalam perjalanan penempatannya bertemu formasi yang bersifat permeable sehingga dapat menyerap kandungan air dalam bubuk semen.

Sedangkan sifat semen dalam keadaan telah mengeras atau dalam keadaan telah menjadi beton antara lain^[9]:

a. Kuat tekan

Kuat tekan adalah kekuatan dari semen setelah proses hidrasi terlampaui. Kekuatan ini diinginkan agar mendekati kekuatan formasi, akan tetapi pada umumnya standar yang digunakan adalah harga 500 psi dengan WOC (*waiting on cement*) atau waktu tunggu semen kering selama 24 jam.

b. Ketahanan korosi dan ketahanan sulfat

Adanya formasi yang mengandung zat kimia seperti air garam atau Na_2SO_4 , MgSO_4 dan MgCl_2 dapat merusak semen. Proses yang terjadi adalah kapur yang terdapat pada semen dapat bereaksi dengan zat kimia tersebut diatas, sehingga dapat menyebabkan desintegrasi semen yang keras. Kadar C_3A dalam semen tidak lebih dari 3 % dapat menahan pengaruh sulfat.

2.5. Proses Hidrasi Semen

Hidrasi semen Portland adalah reaksi kimia yang berurutan antara klinker, kalsium sulfat dan air, sampai akhirnya suspensi semen mengeras^[6]. Hidrasi semen Portland ini hampir sama dengan hidrasi C_3S sendiri, namun ada beberapa parameter yang harus ditambahkan.

Hidrasi semen Portland ini dapat dibedakan menurut kondisi temperatur lingkungan yang dialami, yakni hidrasi pada temperatur rendah dan hidrasi pada temperatur tinggi.

2.5.1. Hidrasi pada Temperatur Rendah

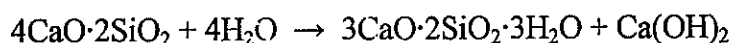
Komponen pada semen Portland merupakan komponen yang '*anhydrous*', yakni bila bertemu air maka komponen-komponen tersebut akan pecah dan membentuk komponen hidrat seperti suspensi^[6]. Komponen hidrat yang terbentuk seperti larutan yang tidak stabil dan kelewat jenuh dan secara perlahan mengeras.

Peristiwa mengenai hidrasi semen berhubungan dengan kelakuan masing-masing komponen semen dalam lingkungan cair dan kelakuan sistem semua komponen (semen Portland). Keempat komponen utama semen Portland mempunyai perbedaan dalam hidrasi kinetik dan bentuk produk hidrasinya

a. Hidrasi Fasa Silikat

Fasa silikat dalam semen Portland merupakan komponen yang paling banyak, kurang lebih 80 % dari total material. C₃S adalah unsur utamanya, dengan konsentrasi sampai 70 % sedangkan kadar C₂S tidak lebih dari 20 %.

Hasil reaksi kimia C₃S dan C₂S dengan air menghasilkan kalsium silikat hidrat (C-S-H) dan kalsium hidroksida atau dikenal portlandit [Ca(OH)₂], reaksinya adalah sebagai berikut :



Gel C-S-H terdapat sekitar 70 % dalam hidrat semen Portland keseluruhannya dan merupakan bahan pengikat pada semen yang telah mengeras sedangkan kalsium hidroksida dalam bentuk kristal heksagonal dimana konsentrasi dalam semen sekitar 15-20 %. Pada awal proses hidrasi berlangsung singkat, fasa silikat

mengalami periode reaktivitas yang lambat disebut '*Induction Period*'. Namun periode ini tidak terlalu mempengaruhi reologi suspensi semen. Hidrasi yang besar terjadi pada saat laju hidrasi C_3S melalui laju hidrasi C_2S . Karena kelebihan laju hidrasi C_3S dan banyaknya gel C-S-H, hidrasi C_3S sangat berpengaruh pada saat proses pengerasan semen dan pengembangan awal kekuatan semen sedangkan hidrasi C_2S berpengaruh pada kekuatan akhir semen.

b. Hidrasi Fasa Aluminat

Fasa aluminat, terutama C_3A , sangat reaktif pada hidrasi yang berlangsung singkat. Walaupun kadar aluminat lebih kecil daripada kadar silikat, namun aluminat ini berpengaruh terhadap reologi suspensi semen dan pembentukan kekuatan awal semen.

2.5.2. Hidrasi pada Temperatur Tinggi

Seperti telah diterangkan sebelumnya, bahwa semen Portland terdiri paling banyak dari material kalsium silikat yang terdiri dari komponen trikalsium silikat dan dikalsium silikat^[6]. Penambahan air pada material tersebut akan membentuk gel kalsium silikat hidrat yang disebut gel C-S-H. Gel ini akan mempengaruhi kekuatan dan kestabilan semen pada temperatur biasa, selain itu sejumlah kalsium hidroksida dibebaskan. Pada temperatur yang lebih tinggi, gel C-S-H mengalami perubahan yang selalu menyebabkan turunnya kuat tekan dan menaikkan permeabilitas semen. Kejadian ini umumnya disebut dengan istilah *Strength Retrogression*, yang pertama kali dikemukakan oleh Swayze pada tahun 1954.

2.6. Bahan Aditif

Berbagai jenis aditif telah banyak digunakan dalam penyemenan sumur minyak bumi, gas alam dan panas bumi dengan mempertimbangkan kondisi sumur seperti kedalaman, temperatur, dan tekanan^[10]. Beberapa operator penyemenan menggunakan berbagai jenis aditif semen untuk berbagai kebutuhan, antara lain untuk :

1. Menambah dan mengurangi berat bubuk semen.
2. Menambah volume bubuk semen dengan biaya yang relatif rendah.
3. Meningkatkan kuat tekan.

2.6.1. Abu Layang

Abu layang sebagai produk limbah dari pembakaran batubara pada pembangkit listrik yang jumlahnya tergantung dari jenis batubara yang dibakar serta sistem pembakarannya^[11]. Tetapi rata-rata kandungan abu dari batubara sekitar 4 % (w)-10 % (w). Abu layang dari pembakaran tersebut terbagi dalam dua kelompok yaitu abu layang (*Pulverised Fuel Ash*) yang ditangkap dari gas buang *furnace* dengan peralatan pengendap elektrostasik yakni sekitar 75-80 % dari total abunya^[12,13]. Sisanya adalah abu yang jatuh di bagian bawah *furnace* (*Furnace Bottom Ash*) sebagai material yang sangat halus

Abu layang adalah salah satu macam material *pozzolanic* dimana defisiensinya menurut ASTM C 618 adalah suatu material yang mengandung silika atau alumina silika yang tidak mempunyai sifat sebagai perekat (sementara) pada dirinya sendiri^[11]. Tetapi dengan butirannya yang sangat halus bisa bereaksi secara kimia dengan kapur

dan air membentuk perekat pada temperatur normal. Sifat-sifat abu layang yang menguntungkan pada campuran beton adalah^[14]:

- a. Menurunkan panas hidrasi beton.
- b. Memperlambat waktu pengesetan beton.
- c. Meningkatkan kuat tekan dan ketahanan beton.

2.6.2. Komposisi Kimia Abu Layang

Komposisi kimia yang berbeda pada setiap batu bara akan memberikan komposisi kimia yang berbeda pada abunya. Secara umum, mayoritas abu layang terdiri dari SiO_2 dan Al_2O_3 yang total keduanya dapat mencapai 80 % (w), sedangkan Fe_2O_3 dan unsur-unsur lainnya tidak lebih dari 20 % (w). Berikut ini adalah komposisi kimia abu layang menurut API^[8].

Tabel 2.2. Komposisi abu layang menurut standar API^[7]

Mineral	Komposisi (%)
SiO_2	43,20
Al_2O_3	42,93
CaO	5,92
MgO	1,03
SO_3	1,70
CO_2	0,03
Hilang bakar	2,98

2.7. Serangan Sulfat

Beton yang sudah diserang oleh sulfat mempunyai ciri khas pada penampilan luarnya, biasanya kerusakan beton dimulai pada permukaan dan sudut-sudut yang kemudian dilanjutkan dengan pecah dan hancurnya beton^[15]. Penyebabnya adalah serangan sulfat dalam bentuk CaSO_4 (gypsum) dan kalsium sulfoaluminat (ettringit),

keduanya merupakan senyawa terbanyak daripada senyawa-senyawa yang pindah sehingga pengembangan dan gangguan yang kuat pada beton memakan tempat. Gypsum secara cepat bereaksi dengan C_3A menghasilkan ettringit karena pada tahap ini beton masih dalam keadaan semiplastik sehingga pengembangannya dapat diubah.

Kandungan alumina dalam semen Portland memainkan peran yang besar dalam ketahanannya dengan lingkungan sulfat^[16]. Menurut Candlot pada tahun 1890 bahwa yang pertama kali terbentuk adalah senyawa ettringit, $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$.

2.8. Pengaruh Waktu Perendaman terhadap Serangan Sulfat

Pada kedalaman tertentu yang diperkirakan sekitar 100-600 meter, formasi sekitar selubung baja mengandung gas CO_2 ion sulfat^[17]. Bubur semen yang sudah mengental tidak sempat berhidrasi disebabkan temperatur sekitar tinggi sehingga beton yang terbentuk sangat rapuh dan membetuk pori-pori di sekitar permukaan.

Ion sulfat yang terdapat dalam air formasi terserap ke dalam beton melalui pori pada permukaan^[15,17]. Akibatnya beton menjadi rapuh dan keretakan tidak dapat dihindari. Semakin lama kontak antara ion sulfat dengan beton mengakibatkan kuat tekan beton akan menurun dan selanjutnya akan menimbulkan keretakan. Kuat tekan dapat dinyatakan sebagai berikut.^[6]

$$\sigma_c = \frac{P}{A}$$

dimana P adalah tekanan yang diberikan ke beton (kgf) dan A adalah luas penampang beton (cm^{-2}).

2.9. Daya Hantar Listrik Larutan Elektrolit

Konduktivitas molar elektrolit, tidak bergantung pada konsentrasi jika κ tepat sebanding dengan konsentrasi elektrolit^[18]. Walaupun demikian, pada prakteknya konduktivitas molar bervariasi terhadap konsentrasi. Salah satu alasannya adalah jumlah ion dalam larutan mungkin tidak sebanding dengan konsentrasi elektrolit. Kedua, karena ion saling berinteraksi dengan kuat maka konduktivitas larutan tidak tepat sebanding dengan jumlah ion yang ada. Sifat umum elektrolit kuat adalah konduktivitas molarnya hanya sedikit berkurang dengan bertambahnya konsentrasi. Sedangkan sifat umum elektrolit lemah adalah konduktivitas molarnya normal pada konsentrasi mendekati nol, tetapi turun dengan tajam sampai nilai rendah saat konsentrasi bertambah. Daya hantar dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\Lambda_m = \frac{\kappa}{c}$$

dimana Λ_m adalah daya hantar molar ($S \cdot cm^2 \cdot mol^{-1}$), κ adalah daya hantar ($S \cdot cm^{-1}$) dan c adalah konsentrasi larutan (M).

2.10. Difraksi Sinar -- X

Metode difraksi sinar – X merupakan metode yang bersifat tidak merusak bahan, sehingga bahan tersebut dapat digunakan untuk analisis lagi^[19]. Informasi yang didapatkan dari difraksi sinar – X antara lain identifikasi mineral dan logam, struktur kristal, kemurnian fasa, kristalinitas dan ukuran partikel^[20].

Sinar – X dapat didifraksi oleh atom-atom dalam suatu kristal yang menghasilkan pola difraksi yang khas. Pola difraksi tersebut digunakan untuk identifikasi spesies mineral^[19]. Setiap kristal menggunakan panjang gelombang yang tepat agar dapat memberi refleksi Bragg^[20]. Pola difraksi adalah alur dari intensitas sinar terdifraksi yang memiliki indeks Miller sebagai fungsi dari 2θ . Hubungan antara panjang gelombang dengan sudut θ dinyatakan dalam persamaan Bragg^[20]:

$$n\lambda = 2d \sin \theta$$

n = orde reaksi

λ = panjang gelombang sinar – X

d = jarak antar atom pada kisi kristal

θ = sudut difraksi

