

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Semen yang digunakan pada penelitian ini adalah semen Padang klas G untuk pemboran sumur minyak yang telah diuji kualitasnya sesuai standar API Spec 10A. Hasil uji kualitas semen Padang klas G adalah sebagai berikut :

Tabel 4.1 Hasil uji kualitas semen Padang klas G

Pengujian	Hasil
Kandungan air bebas	2.2 mL
Kuat tekan pada suhu 38 °C	754,17 lbs
Kuat tekan pada suhu 60 °C	1725 lbs
Waktu pengejalan 100 BC	pada menit ke 105

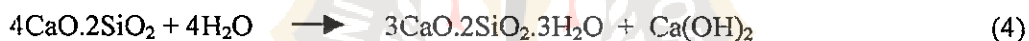
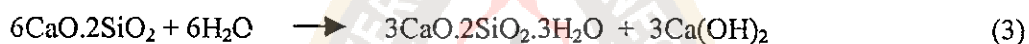
Dari hasil pengujian tersebut, semen Padang klas G dapat digunakan untuk operasi pemboran sumur minyak. Menurut API Spec 10A, semen klas G yang layak untuk pemboran sumur minyak harus memiliki kandungan air bebas yang tidak melebihi 3,5 mL, kuat tekan pada suhu 38 °C minimal 300 lbs dan pada suhu 60 °C minimal 1500 lbs, dan waktu pengejalan yang menunjukkan 100 BC berada pada range 90 – 120 menit.

Abu layang yang digunakan pada penelitian ini adalah abu layang PLTU Suralaya yang merupakan sisa pembakaran batu bara sebagai bahan bakar utama PLTU Suralaya. Abu layang PLTU Suralaya dapat digunakan sebagai bahan campuran pada semen klas G karena memiliki kandungan silika yang cukup tinggi, yaitu 58 %^[25] (data terlampir). Silika tersebut yang nantinya diharapkan akan berperan pada pembentukan kalsium silikat hidrat ($3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$).

Pada pembuatan beton semen, abu layang dan semen yang digunakan adalah 7:13, ini menunjukkan bahwa massa semen yang dapat digantikan oleh abu layang adalah 35 %, berdasarkan penelitian sebelumnya^[5] pada jumlah tersebut penggunaan abu layang adalah optimum. Pada perendaman dalam penangas, 6 jam adalah waktu yang diperlukan bubur semen untuk menempati posisi antara selubung dan tanah^[16], sedangkan suhu 60 °C adalah suhu berdasarkan standar API^[13] untuk terhidrasinya semen pada saat *setting*.

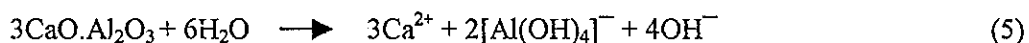
Pada tahap pembuatan beton semen, terjadi hidrasi fasa silikat dan hidrasi fasa aluminat. Pada hidrasi fasa silikat hasil reaksi kimia C₃S dan C₂S dengan air menghasilkan kalsium silikat hidrat (C-S-H) dan kalsium hidroksida (Ca(OH)₂).

Reaksinya adalah sebagai berikut :

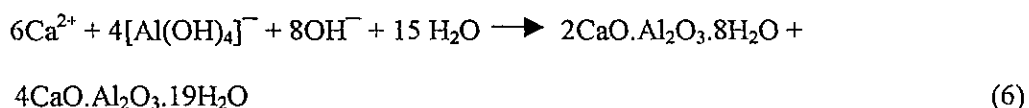


Kalsium silikat hidrat umumnya disebut dengan gel C-S-H yang merupakan bahan pengikat pada semen yang telah mengeras^[23].

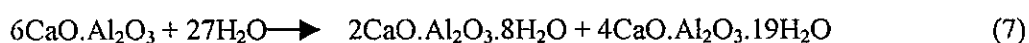
Pada hidrasi fasa aluminat, terjadi reaksi irreversibel antara C₃A dengan air, reaksinya adalah sebagai berikut :



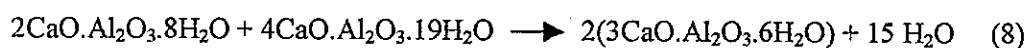
Bubur semen dengan cepat menjadi jenuh sehingga terbentuk kalsium aluminat hidrat (persamaan reaksi 6).



persamaan reaksi (5) dan (6) digabung menjadi reaksi berikut:

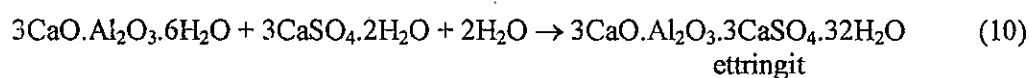
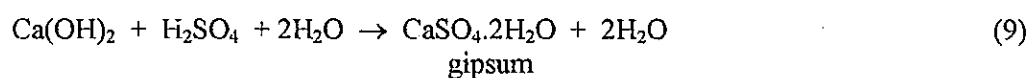


Kalsium aluminat hidrat berbentuk kristal heksagonal dan hampir stabil kondisinya, kemudian berubah menjadi lebih stabil dalam bentuk kubik sebagai $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ menurut reaksi di bawah ini^[23]:



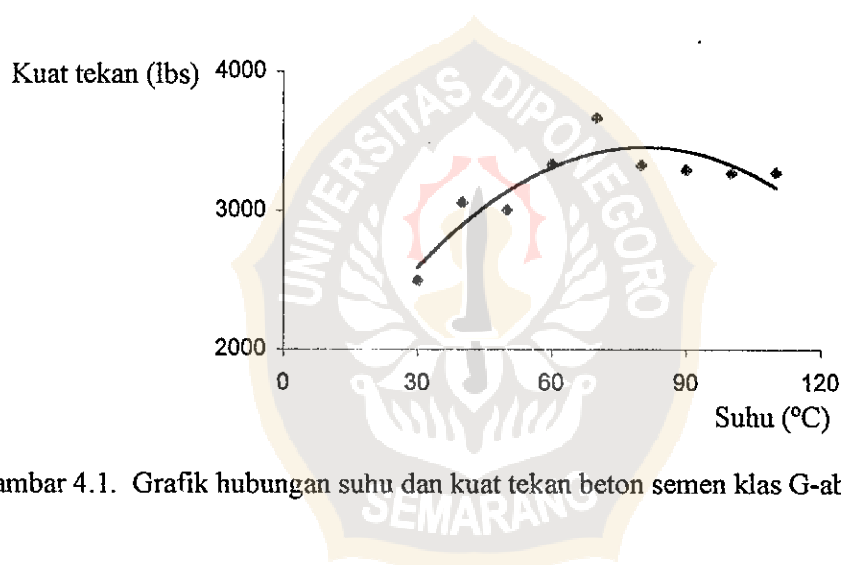
Pada tahap perendaman beton semen dalam larutan H_2SO_4 , konsentrasi H_2SO_4 ditetapkan 0,05 M yang merupakan kandungan sulfat rata-rata dalam air formasi^[16]. Sedangkan waktu perendaman 24 jam dipilih karena diperkirakan dalam waktu 24 jam seluruh permukaan beton semen telah bereaksi dengan larutan H_2SO_4 karena dalam waktu tersebut beton semen telah berada diantara selubung dan tanah selama 18 jam^[16].

Kondisi fisik beton semen setelah perendaman dalam larutan H_2SO_4 mengalami perubahan, yaitu yang semula berwarna abu-abu dan berpori kecil menjadi berwarna kuning kecoklatan dengan kristal-kristal putih berbentuk jarum disekelilingnya. Selain itu terjadi keretakan pada tepi dan sudut beton, hal tersebut disebabkan pada tepi dan sudut memiliki tegangan yang lebih besar dari pada bagian lain, sehingga lebih peka terhadap adanya gangguan-gangguan. Kristal-kristal putih yang terbentuk diduga adalah senyawa ettringit. Menurut Candlot^[3], ettringit terbentuk dari sulfat yang bereaksi dengan portlandit $\text{Ca}(\text{OH})_2$ membentuk gipsum. Kemudian gipsum tersebut bereaksi dengan C_3A membentuk ettringit, kedua reaksi tersebut terjadi secara berturut-turut:



Semakin banyak terbentuknya gel C-S-H semakin baik karena beton menjadi bertambah kuat. Namun hasil sampingnya, yaitu portlandit dapat bereaksi dengan sulfat membentuk gipsum dan selanjutnya membentuk ettringit. Apabila serangan sulfat kuat, maka ettringit akan semakin banyak terbentuk. Ettringit memiliki volume yang besar^[3] sehingga akan mendesak beton untuk memperluas volumenya dan menimbulkan keretakan pada beton, hal tersebut menyebabkan kekuatan beton menurun.

Beton semen setelah perendaman dalam larutan H_2SO_4 diuji kuat tekannya, hasilnya disajikan pada gambar 4.1.

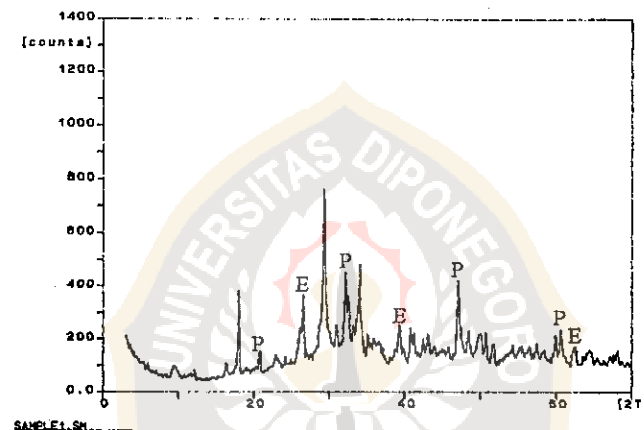


Gambar 4.1. Grafik hubungan suhu dan kuat tekan beton semen klas G-abu layang

Dari hasil uji kuat tekan, pada suhu 30 °C hingga 70 °C kuat tekan meningkat, kemudian pada suhu diatas 70 °C kuat tekan cenderung menurun, hal tersebut menunjukkan bahwa pada kenaikan suhu hingga 70 °C aktivitas serangan sulfat belum maksimal, sulfat yang bereaksi dengan portlandit baru sedikit. Selain itu, komponen dalam semen yang belum bereaksi sempurna pada proses hidrasi akan bereaksi dengan H_2O yang ada dalam larutan sehingga kekuatan beton akan

meningkat. Tetapi diatas suhu 70 °C aktivitas ion-ion sulfat meningkat, gerakan partikel-partikelnya semakin cepat dan interaksi ion-ion sulfat semakin sering, sehingga ettringit semakin banyak terbentuk. Hal tersebut mengakibatkan kuat tekan beton menurun.

Beton semen yang telah diuji kuat tekannya dianalisis dengan XRD untuk mengetahui komponen mineral penyusun beton semen yang terbentuk. Difraktogram semen klas G-abu layang pada 70 °C disajikan pada gambar 4.2.



P: Portlandit
E: Ettringit

Gambar 4.2. Difraktogram semen klas G-abu layang

Pada difraktogram terdapat puncak-puncak yang menunjukkan adanya mineral-mineral yang mengandung sulfat seperti ettringit dan taumasit ($\text{Ca}_3\text{Si}(\text{OH})_6 \cdot 12\text{H}_2\text{O}(\text{SO}_4)(\text{CO}_3)$) selain mineral-mineral lain seperti portlandit, larnit (Ca_2SiO_4), dan gipsum. Adanya senyawa ettringit menunjukkan terjadinya interaksi antara gipsum dengan C_3A . Berikut ini adalah hasil interpretasi difraktogram senyawa ettringit dan portlandit pada tabel 4.2^[29]:

Tabel 4.2. Interpretasi difraktogram senyawa ettringit dan portlandit

senyawa	interpretasi				
	ettringit	d	9,73	5,61	3,88
I/I₀		100	80	50	100
hkl		100	110	114	100
portlandit	d	2,63	4,90	1,93	4,90
	I/I₀	100	74	42	74
	hkl	101	001	102	001

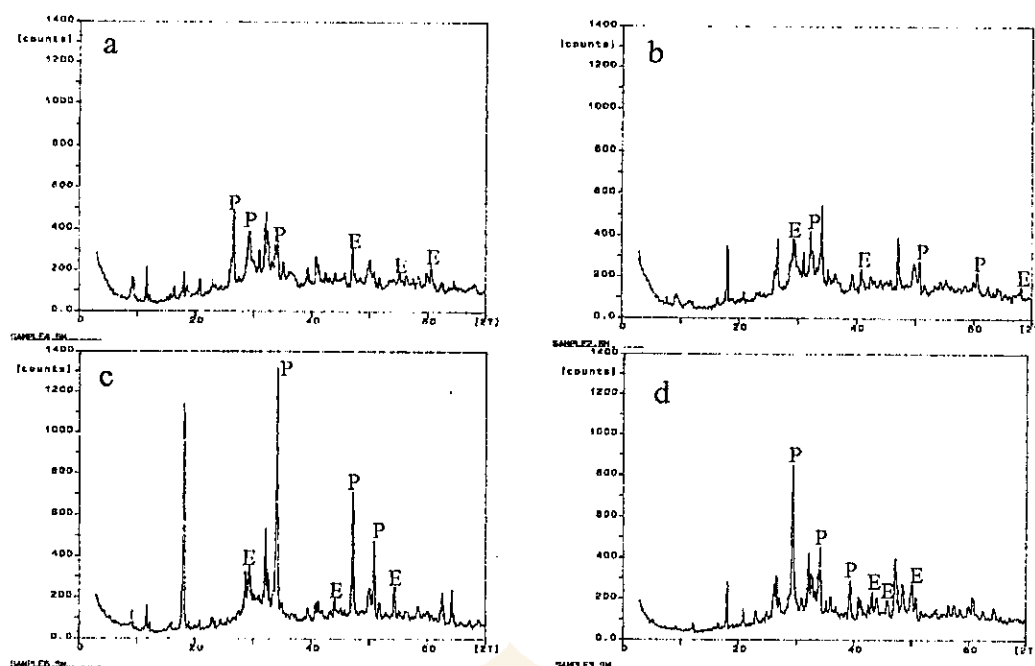
Tahap selanjutnya, untuk mengetahui pengaruh sulfat lebih lanjut, dilakukan uji terhadap beton semen klas G dengan dan tanpa penambahan abu layang. Sebagai pembanding dilakukan juga perendaman beton semen dalam H₂O. Hasilnya disajikan pada tabel 4.3.

Tabel 4.3. Kuat tekan beton semen klas G dengan dan tanpa abu layang dalam larutan perendam H₂SO₄ dan H₂O

Beton	Larutan perendam	Kuat tekan (lbs)
Semen klas G + abu layang	H ₂ SO ₄ 0,05 M	4393,50
	H ₂ O	5135,00
Semen klas G	H ₂ SO ₄ 0,05 M	4281,25
	H ₂ O	4750,00

Dari data, kuat tekan semen klas G mengalami peningkatan dengan adanya penambahan abu layang, hal tersebut disebabkan adanya komponen-komponen dalam abu layang seperti SiO₂, Al₂O₃ dan Fe₂O₃. Silika membantu memperbanyak terbentuknya gel C-S-H, dengan semakin banyak gel C-S-H maka beton semen akan semakin kuat sehingga dapat menahan serangan sulfat. Selain itu, komponen lain dari abu layang diduga membantu menghambat reaksi antara sulfat dan portlandit sehingga pembentukan ettringit juga terhambat^[5,12].

Selanjutnya beton semen dianalisis dengan XRD untuk mengetahui komponen mineral yang terbentuk. Difraktogram dapat dilihat pada gambar 4.3.



Gambar 4.3. Hasil analisis XRD (a) semen klas G-abu layang (b) semen klas G dalam larutan perendam H_2SO_4 0,05 M dan (c) semen klas G-abu layang (d) semen klas G dalam larutan perendam H_2O .

difraktogram menunjukkan bahwa secara umum mineral-mineral yang terbentuk adalah sama, yaitu ettringit, taumasit, portlandit, larnit, dan gipsum. Namun terdapat perbedaan pada komposisi dari mineral ettringit dan portlandit yang disajikan pada tabel 4.4.

Tabel 4.4. Komposisi mineral ettringit dan portlandit pada semen klas G dengan dan tanpa penambahan abu layang

Mineral	Komposisi (%)			
	Semen klas G + abu layang dalam H_2SO_4	Semen klas G + abu layang dalam H_2O	Semen klas G dalam H_2SO_4	Semen klas G dalam H_2O
Ettringit	4	2	7	2
portlandit	20	60	13	20

Dari tabel, komposisi portlandit tanpa adanya pengaruh sulfat lebih besar dari pada dengan adanya pengaruh sulfat. Hal tersebut menunjukkan bahwa terjadi reaksi antara sulfat dan portlandit yang menyebabkan berkurangnya portlandit. Komposisi portlandit juga lebih banyak pada semen klas G dengan penambahan abu layang, kandungan silika yang tinggi dari abu layang membantu memperbanyak terbentuknya gel C-S-H sehingga portlandit yang terbentuk juga lebih banyak karena portlandit merupakan hasil samping dari pembentukan gel C-S-H.

Komposisi ettringit yang paling banyak terbentuk adalah pada semen klas G tanpa abu layang dalam larutan perendam H_2SO_4 . Sulfat lebih mudah menyerang karena tidak adanya komponen penghalang seperti Al_2O_3 dan Fe_2O_3 yang terdapat pada abu layang sehingga ettringit lebih mudah terbentuk. Semakin banyak ettringit yang terbentuk, perluasan volume beton juga semakin besar sehingga keretakan lebih parah. Hal tersebut didukung oleh data kuat tekan pada tabel 4.3 dimana kuat tekan yang paling rendah adalah semen klas G tanpa abu layang dengan larutan perendam H_2SO_4 .