



Pengaruh Penambahan CaCO_3 sebagai Filler pada Semen OPC (Ordinary Portland Cement) terhadap Performa *Setting Time* dan Kuat Tekan (Studi Kasus PT. Semen Indonesia)

Sefrilita Risqi Adikaning Rani¹, Nurlailiyah Isnaini²

¹Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar

²Fisika, Fakultas Sains dan Analitika Data, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

email: sefrilita.rani@uin-alauddin.ac.id

INFO ARTIKEL

Status artikel:

Diterima: 18 November 2020

Disetujui: 30 Desember 2020

Tersedia online: 31 Desember 2020

Keywords: CaCO_3 , OPC, Kuat tekan, Semen, *Setting time*

ABSTRACT

Research has been carried out on the effect of adding CaCO_3 as a filler in OPC cement (Ordinary Portland Cement) on setting time performance and compressive strength. The purpose of this study was to determine the effect of adding CaCO_3 as a filler on the compressive strength and setting time of OPC cement. The principle of this experiment is the addition of CaCO_3 to each of the OPC cement samples, after which the paste is tested for setting time with the Vicat tool. Mortar samples were made to be tested for compressive strength using a compressive strength test equipment. The results of the addition of CaCO_3 as a filler in OPC cement include, the optimum value was obtained when the addition of CaCO_3 was 5.5% based on the results of linear interpolation with a blank ratio. However, it is safer if the optimum value used as a reference for PT Semen Indonesia (Persero) Tbk is 5.4%. The addition of CaCO_3 to OPC cement can save production costs in making OPC cement. The value of setting time and compressive strength obtained still meet the standards set by PT Semen Indonesia (Persero) Tbk.

1. PENDAHULUAN

Pemanasan global telah menjadi isu utama yang berkembang di seluruh tempat di dunia. Pemanasan global merupakan suatu fenomena yang disebabkan oleh pelepasan gas CO_2 ke atmosfer. Industri semen adalah industri yang memerlukan energi panas dan listrik sekitar 40% dari keseluruhan biaya operasional (Davidovits, 1994). Hal ini terkait pada proses produksi pembuatan semen, banyak CO_2 diproduksi. Tindakan dasar untuk mengurangi emisi CO_2 di atmosfer yang direkomendasikan oleh Uni Eropa antara lain meliputi: pengurangan konsumsi bahan bakar, pemilihan bahan baku dengan kandungan senyawa organik rendah dan bahan bakar dengan kontribusi batubara rendah untuk nilai kalor (Deja et al., 2010). Karena fakta tersebut, perlu dilakukan inovasi untuk mengurangi emisi CO_2 dari klinker semen yakni dengan optimisasi penambahan filler (Rompas et al.,

2013) (Arifi, 2016) dengan tujuan efisiensi energi proses produksi dengan kualitas produk yang masih masuk dalam rentang kualitas PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. Dengan mengurangi penggunaan klinker yang mengandung banyak CO₂ yang dapat mengakibatkan pemanasan global dan juga dapat mengurangi biaya produksi.

Dalam penelitian ini akan diteliti lebih lanjut tentang penggunaan filler kapur CaCO₃ terhadap kuat tekan dan uji setting time pada semen OPC (Ordinary Portland Cement) dengan harapan untuk mengurangi penggunaan klinker serta masih memenuhi standar mutu PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. Semen Portland Biasa (OPC) dipilih sebagai bahan penelitian, karena itu adalah jenis semen yang paling banyak digunakan di kalangan masyarakat. Semen ini biasanya digunakan dalam proses konstruksi bangunan yang tidak harus memiliki karakteristik ketahanan khusus. *Ordinary Portland Cement* (OPC) memenuhi persyaratan SNI 15-2049-2004, ASTM C 150-95 a, BSS 12-1989, JIS R 5210-1981 (Hidayat, 2009). Pada penelitian ini, semen OPC ini akan diuji *setting time* dan kuat tekan. Berdasarkan standart yang sudah dilakukan penelitian dalam *setting time* dan kuat tekan pada perusahaan Semen Indonesia adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Hasil Uji standart ASTM dan Semen Indonesia (ASTM, 2004)

Jenis Uji	ASTM / SNI 15-2049-2004	SEMEN INDONESIA
<i>Initial time</i>	Min 45 menit	122
<i>Final time</i>	Max 375 menit	253
Kuat tekan:		
3 hari	Min 125 kg/cm ²	250 kg/cm ²
7 hari	Min 200 kg/cm ²	318 kg/cm ²
28 hari	Min 280 kg/cm ²	397 kg/cm ²
Kehalusan:		
Uji <i>blaine</i>	Min 280 m ² /kg	337 m ² /kg

Setting time merupakan waktu yang dibutuhkan oleh pasta semen untuk mengeras. Proses diawali dari penambahan air sampai didapat semen mengeras, tidak dapat dibentuk lagi dalam waktu tertentu. Periode waktu pengikatan ini dapat dibagi menjadi 4 antara lain; domain initial set (pengikatan awal), domain final set (pengikatan akhir), ardening (pengerasan) dan dorman period. Semen apabila dicampur dengan air akan menghasilkan pasta yang plastis yang bisa dibentuk sampai beberapa waktu karakteristik dari pasta semen tetap dan periode ini sering disebut Dorman Period (periode tidur) (ASTM, 2004). Sedangkan kuat tekan merupakan kemampuan pasta semen menahan beban tekan.

Untuk nilai setting time dan kuat tekan dapat dipengaruhi oleh penambahan filler. Dalam penelitian ini digunakan filler kapur CaCO₃ dengan variasi tertentu. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui apakah dengan penambahan kapur tersebut dapat mempengaruhi performa dari pengujian fisika terutama pada setting time dan kuat tekan pada semen OPC.

2. METODE PENELITIAN

A. Pembuatan Semen OPC

Dalam pembuatan semen OPC ini disiapkan tiga komposisi bahan diantaranya: Terak, gypsum, dan material ketiga yakni kapur (CaCO_3). Dibuat empat sampel dengan variasi kapur yang berbeda. Dengan jumlah penggunaan gypsum pada masing-masing sampel yakni sebesar 5%wt sehingga komposisi terak dapat diketahui untuk mencapai 100%. Dalam pembuatan sampel digunakan komposisi total bahan semen yang akan dibuat yakni sebesar 2.500 gram. Kemudian dilakukan perhitungan untuk masing-masing komposisi bahan yang diperlukan sebagai berikut:

Tabel 2. Persentase bahan yang diperlukan.

Nama Sampel	A	B	C	D
Kapur	0% wt	2% wt	4% wt	6% wt
Gypsum	5% wt	5% wt	5% wt	5% wt
Terak	95% wt	93% wt	91% wt	89% wt

Kemudian, kita campur ketiga komposisi antara kapur, gypsum, dan terak pada masing-masing sampel. Pencampuran itu diusahakan sampai sampel bersifat homogen.

B. Tahap Preparasi Sampel

Pengujian Normal Konsistensi

Dalam pengujian Normal Konsistensi dilakukan perparasi sampel yakni dengan pembuatan pasta semen. Preparasi sampel dimulai dengan menimbang sampel yang akan diuji dengan komposisi sampel masing-masing terdiri dari 650gr semen. Kemudian diletakkan wadah pada mesin pengaduk. Lalu dimasukkan bahan-bahan dalam wadah. Langkah-langkah selanjutnya antara lain memasukkan air ke dalam wadah pengaduk. Komposisi air pada masing-masing sampel berbeda. Air yang dibutuhkan untuk sampel A, B, C dan D adalah sebesar 148 ml, 150 ml, 152 ml dan 151 ml. Kemudian, semen dimasukkan kedalam air sesuai dengan variasinya dan tunggu selama 30 detik agar air campuran terserap. Selanjutnya, wadah pengaduk disetting dengan kecepatan rendah (140 ± 5) putaran per menit selama 30 detik dan kemudian dimatikan selama 15 detik. Saat dimatikan mesinnya, kumpulkan pasta yang menempel pada dinding wadah. Kemudian mesin pengaduk dijalankan kembali pada kecepatan sedang (± 280) putaran per menit selama 60 detik. Kemudian dengan segera bentuk pasta semen yang telah disiapkan menjadi bola dengan kedua tangan (memakai sarung tangan karet) dan lempar bolak balik 10 kali dari tangan satu ke tangan yang lainnya. Kemudian tekan bola pasta yang terletak pada satu tangan ke dalam lubang yang besar dari cincin vicat. Cetak pasta semen

menggunakan cicin dengan lubang yang besar pada pelat kaca. Hindari penekanan pada pasta semen selama proses pemotongan dan penghalusan. Penentuan kadar air aquades dapat dilihat dengan hasil awal dari penggunaan alat *vicat* yang menunjukkan 10 ± 1 yang menunjukkan nilai konsistensi normalnya. Jika sudah masuk rentang nilai tersebut, maka dapat dikatakan bahwa air yang digunakan sudah cukup.

Pengujian *Setting Time*

Untuk preparasi sampel pada pengujian yakni meneruskan dari sampel pasta pada pengujian normal konsistensi jika sudah diperoleh nilai konsistensi normal, maka akan siap diuji dengan menggunakan metode jarum *vicat* untuk mengetahui *setting time* dari semen. Dari hasil pengujian normal konsistensi dilanjutkan pengujian waktu pengikatan (*setting time*). Perlu diperhatikan suhu ruangan pengujian yakni 20 s/d 27,5°C dan kelembaban ruang tidak kurang dari 50%.

Pengujian Kuat Tekan

Untuk uji kuat tekan maka perlu juga dilakukan preparasi sampel. Pertama yakni persiapan alat dan bahan yang diperlukan. Alat yang diperlukan yakni *mixer*, cetakan dan semen kubus. Sedangkan, bahan yang diperlukan yakni semen, pasir otawa standar penelitian dan air aquades. Kedua yakni menimbang semen dan pasir sesuai komposisi yang ditentukan. Untuk masing-masing sampel ditimbang dengan komposisi semen sebesar 500 gr, pasir otawa 1375 gr, dan air sebesar 242 ml. Kemudian semua bahan untuk masing-masing sampel di *mixing* atau dicampurkan dengan menggunakan *mixer* dan setelah itu dicetak dengan menggunakan cetakan kubus.

C. Pengujian

Uji Normal Konsistensi

Pengujian nilai Normal Konsistensi dilakukan dengan menggunakan alat *vicat*. N/C (Nomal Consistensi) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$NC = \frac{\text{Banyaknya air (gr)}}{\text{Banyak semen (gr)}} \times 100\% \quad (1)$$

Konsisten normal pasta tercapai apabila batang peluncur pada alat *vicat* menembus sampai batas (10 ± 1) mm di bawah permukaan pasta dalam waktu 30 detik setelah dilepaskan. Semuanya itu dikerjakan dengan memakai persentase air yang berbeda sehingga sampai tercapai konsistensi normal dan gunakan semen baru pada setiap percobaan.

Uji *Setting Time*

Proses pengujian waktu pengikatan semen (*setting time*) yaitu dengan langkah-langkah sebagai berikut. Pertama yang harus dilakukan yakni dengan meletakkan sampel dalam ruang lembab selama ± 30 menit setelah pencetakan. Selanjutnya penetrasi dilakukan dengan menggunakan jarum berdiameter 1 mm pada menit tersebut dengan jarak penetrasi minimal 10 mm dari tepi cetakan dan jarak antara titik penetrasi minima 7 mm. Kemudian dilakukan penetrasi pada 15 menit berikutnya sampai mencapai 25 mm. Kemudian baca

dan dicatat skala yang terbaca untuk penentuan waktu pengikatan awal dimana penetrsi diperoleh 25mm. Setelah menentukan waktu pengikatan awal ditentukan pula waktu pengikatan akhir yakni waktu dimana jarum vicat tidak terbenam pada permukaan pasta semen atau dikatakan tidak membekas pada permukaan pasta semen.

Uji Kuat Tekan

Uji kuat tekan dilakukan dengan menggunakan alat uji kuat tekan digital. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan semen menahan suatu beban. Metode ini digunakan untuk mengetahui apakah semen memenuhi spesifikasi yang diinginkan. Hasil yang ditunjukkan dari masing-masing sampel itu dihitung kuat tekannya dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$F_m = \frac{P}{A} \quad (2)$$

dimana:

F_m = kuat tekan dalam psi atau MPa

P = beban maksimum total dalam N

A = luas dari permukaan yang dibebani dalam mm^2

Sampel untuk uji kuat tekan dicetak kubus dengan panjang rusuk 5 cm Hasil pengujian kuat tekan dari setiap sampel harus diuji pada periode yang sama. Hasil nilai ujinya dihitung rata-ratanya dan dilaporkan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

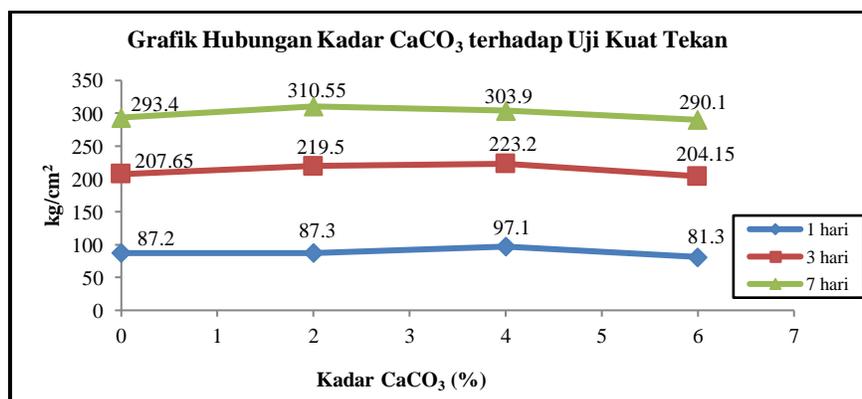
Penelitian ini diawali dengan pembuatan semen OPC serta penambahan kapur (CaCO_3) sebagai *filler*. Metode pembuatan semen OPC yaitu dengan mencampurkan bahan-bahan dasar, seperti terak (klinker) dan gypsum. Kemudian bahan *fillernya* yaitu berupa kapur murni. Proses pencampuran antara terak dan gypsum dilakukan dengan menggunakan horizontal mill. Sedangkan, kapur dihomogenkan dengan menggunakan vertikal mill. Dengan menggunakan horizontal dan vertikal mill, maka akan didapatkan butiran semen dan kapur yang homogen. Prinsip dari penggilingan terak (klinker) dan gypsum dengan menggunakan horizontal mill (*ballmill*) yaitu dengan memanfaatkan energi akibat tumbukan bola baja. Akibat dari tumbukan bola baja, menyebabkan material yang dicampurkan dalam wadah mengalami perubahan ukuran. Hal ini secara fisis terjadi tumbukan bola terhadap material yang digerakkan memutar dengan kecepatan tertentu. Terciptalah mekanisme penggerusan serbuk oleh bola baja secara terus menerus sehingga material yang dicampurkan ukuran serbuknya menjadi berubah ukuran.

Untuk mengetahui apakah semen yang telah di *ballmill* itu merupakan tipe semen *Portland I* (OPC), maka perlu dilakukan pengambilan sampel dari *ballmill* untuk dilakukan uji berat jenis dan uji *blaine* (atau uji kehalusan). Prasyarat dari tipe semen OPC yakni jika nilai berat jenisnya $\approx 3,0 \text{ gram/cm}^3$ dan dengan hasil uji baline sebesar $335 \text{ m}^2/\text{kg}$. Hasil tersebut masih dalam rentang standar Semen Indonesia. Jika belum memenuhi prasyarat di atas, maka perlu dilakukan *ballmill* ulang dengan perkiraan waktu tertentu. Pencampuran kapur dilakukan setelah semua kriteria semen tersebut terpenuhi. Pencampuran kapur

dilakukan dengan mencampurkan semen OPC (terak dan gypsum) serta kapur sesuai kadar dari masing-masing variasi sampel dengan menggunakan *mixer* dan dihomogenkan secara manual pada plastik agar butiran dari semen dan kapur menjadi homogen. Setelah semua dilakukan, maka semen OPC dengan kapur sebagai *filler* sudah dapat dilakukan pengujian. Dalam penelitian ini digunakan dua metode pengujian fisika yaitu uji kuat tekan dan uji *setting time*.

Pengujian kuat tekan adalah sifat kemampuan semen menahan suatu bahan tekan. Dalam pengujian kuat tekan hal pertama yang harus dilakukan adalah membuat mortar. Mortar merupakan campuran dari pasir, air dan semen dengan perbandingan 2,75: 0,485 : 1. Setelah membuat cetakan mortar, maka sampel dapat diuji kuat tekannya dengan menggunakan alat uji kuat tekan. Untuk pengujiannya dilakukan sesuai dengan variasi harinya. Ada yang diuji untuk waktu 24 jam, 3 hari dan 7 hari. Alat uji kuat tekan yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat uji dengan tipe ADR auto V2.0 dengan standart ASTM. Pada pengujian kuat tekan ini *output* yang diharapkan adalah untuk mendapatkan masukan tentang perilaku semen OPC dengan penambahan *filler* kapur terhadap kuat tekannya. Sehingga hal ini dapat menjelaskan bagaimana pengaruh penambahan kadar kapur sebagai *filler* terhadap kuat tekan semen.

Pada pengujian kuat tekan ini hasil yang ditunjukkan oleh alat menunjukkan besarnya beban yang diberikan serta nilai kuat tekan pada masing-masing sampel. Untuk sampel yang pengujiannya lebih dari 24 jam, maka sampel disimpan dengan menggunakan sistem *curing*. Perawatan benda uji atau *curing* dilakukan setelah proses pengecoran selesai. Tujuan *curing* adalah untuk menjaga spesimen agar tetap dalam keadaan jenuh atau hampir basah untuk membantu proses hidrasi semen. Tingkat hidrasi dan kekuatan yang dihasilkan dari spesimen berbahan semen dan properti lainnya, tergantung pada proses *curing*. Perawatan benda uji pada penelitian ini dilakukan dengan cara merendamnya di dalam bak air selama 3 hari dan 7 hari.



Gambar 1. Grafik hubungan kadar CaCO₃ terhadap uji kuat tekan.

Dari hasil pengujian kuat tekan yang ditunjukkan pada gambar 1, jika ditinjau dari lamanya waktu *curing* semakin lama waktu *curing* yang diberikan, maka nilai dari kuat tekan sampel akan semakin besar. Hal ini dikarenakan, semakin lama perendaman dalam

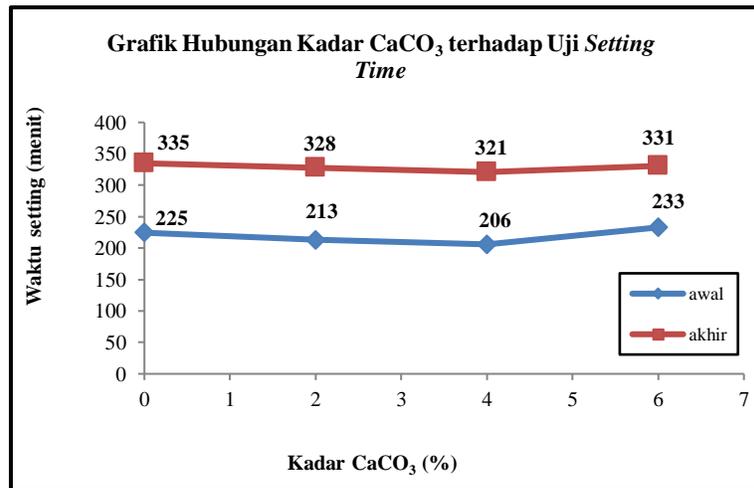
air maka luas permukaan yang dapat dihidrasi semakin besar. Jika luas yang terhidrasi semakin luas, maka apabila diberikan beban atau diuji tekan, partikel-partikelnya akan semakin besar yang dapat menahan beban yang diberikan sehingga dengan waktu *curing* yang lama, kuat tekan yang ditunjukkan oleh alat kuat tekan akan semakin besar. Begitu pula sebaliknya, jika tanpa *curing* maka kuat tekan mortarnya akan semakin rendah.

Hasil analisa dari Gambar 1. di atas yaitu nilai kuat tekan untuk setiap penambahan kadar kapur akan berbeda-beda. Pada Gambar 1 dapat dibandingkan hasil kuat tekannya untuk masing-masing sampel dengan perbandingan terhadap blanko (sampel tanpa penambahan kapur [$\text{CaCO}_3 = 0\%$] = sampel A). Untuk kuat tekan sampel B ($\text{CaCO}_3 = 2\%$) dan Sampel C ($\text{CaCO}_3 = 2\%$) mengalami peningkatan kuat tekannya, jika dibandingkan dengan blanko (sampel A). Sampel B diberikan tambahan kapur dengan kadar 2% dan untuk sampel C diberikan tambahan kapur dengan kadar 4%. Dari sampel B ke sampel C juga mengalami peningkatan nilai kuat tekan mortarnya. Namun, beda halnya dengan pengujian pada sampel D, dengan kadar kapur sebesar 6% hasil dari kuat tekan mortarnya menurun.

Setelah dilakukan pengujian kuat tekan, maka selanjutnya untuk menjawab tujuan yang kedua yakni untuk mengetahui pengaruh penambahan kapur terhadap *setting time*, maka dilakukan pengujian *setting time*. *Setting time* merupakan waktu yang dibutuhkan oleh pasta semen mengeras. Hal ini dimulai dari ditambahkannya air sampai didapatkan semen yang keras dan tidak dapat diubah bentuknya. Semen apabila dicampur dengan air akan menghasilkan pasta yang plastis dan dapat dibentuk sampai beberapa waktu karakteristik dari pasta tidak berubah. Pada tahapan berikutnya, pasta mulai menjadi kaku walaupun masih ada yang lemah, namun sudah tidak dapat dibentuk. Kondisi ini disebut *Initial Set* (atau biasanya dikenal sebagai *setting* awal). Tahapan berikutnya, pasta melanjutkan kekuatannya sehingga didapat padatan yang utuh dan biasa, kondisi ini disebut *final set*. Proses pengerasan terus berjalan seiring dengan waktu. Pengujian *setting time* dapat dilakukan dengan menggunakan alat yang dinamakan vicat. Alat ini mampu mengukur seberapa cepat waktu pengikatan semen dengan skala millimeter (mm). Waktu ikat awal semen diuji dengan metode jarum vicat dengan diameter 1 mm yang menembus pasta semen sedalam 25 mm pada detik ke-30 setelah jarum tersebut dilepaskan, sesuai ASTM C 191. Perlu diingat bahwa kadar air yang digunakan untuk pengujian pengikatan awal semen adalah kadar air konsistensi normal. Konsistensi normal pasta tercapai apabila batang peluncur menembus sampai batas (10 ± 1) mm di bawah permukaan pasta dalam waktu 30 detik setelah dilepaskan. Setelah terpenuhi maka barulah dapat dilakukan pengujian *setting time*.

Berdasarkan Tabel 3, diperoleh nilai *setting time* untuk masing-masing sampel. Dari data tersebut, dapat dilakukan analisa bahwa dari sampel blanko (sampel A) sebagai acuan terhadap sampel B, C, dan D. Hasil yang diperoleh dari pengujian *setting time* diketahui bahwa hasil uji untuk sampel B dan C terhadap blanko (sampel A) menunjukkan nilai *setting* awal dan *setting* akhir yang mengalami penurunan. Dalam hal ini, dapat diambil kesimpulan dengan penambahan jumlah kapur maka dapat menurunkan *setting time*. Yang berarti bahwa semakin kecil nilai pengikatannya, maka dapat dikatakan bahwa semen itu

lebih cepat kering. Jika semen dinyatakan kering, maka sudah pasti semen tersebut keras. Namun lain halnya dengan sampel kode D, yakni dengan penambahan kadar kapur 6% *setting time*-nya semakin besar dan hampir sama dengan blanko artinya semakin lama proses pengeringannya. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dari hasil uji *setting time* dapat dibuat grafik seperti pada Gambar 2. Selanjutnya, untuk mengetahui nilai optimum saat ditambahkannya CaCO_3 pada pembuatan semen OPC, maka digunakan metode interpolasi data yang didapatkan pada hasil uji kuat tekan dan *setting time* dengan perbandingan terhadap blanko.



Gambar 2. Grafik hubungan kadar CaCO_3 terhadap uji *setting time*.

Untuk dapat menganalisa efisiensi biaya produksi semen OPC maka dibuatlah interpolasi data percobaan dan perhitungan efisiensinya. Data tersebut telah disajikan dalam Table 3 dan contoh perhitungan menyertainya.

Tabel 3. Data hasil interpolasi linier pada uji kuat tekan dan *setting time* semen OPC dengan rentang penambahan kapur 4% hingga 6% terhadap blanko.

Kadar Kapur (%)		0	5,2	5,3	5,4	5,5	5,6	5,7
Kuat Tekan (hari)	1	87,2	87,62	86,83				
	3	207,6					207,96	200,01
	7	293,4				293,6	292,9	
Setting time (menit)	awal	225			224,9	226,2		
	akhir	335						

Berdasarkan Tabel 3 di atas, diketahui bahwa nilai optimal dari semen OPC pada penelitian ini yaitu dengan penambahan kapur sebesar 5,5% jika dibandingkan dengan blanko. Hal ini dikarenakan penambahan kadar kapur yang sesuai dapat memicu pembentukan kristal CaOH_2 pada proses hidrasi spesimen yang dapat meningkatkan kekuatan dari semen tersebut. Akan tetapi, lebih aman jika nilai optimum yang digunakan sebagai acuan untuk PT Semen Indonesia (Persero) Tbk yaitu sebesar 5,4%. Dari sini, dapat dihitung pula penghematan biaya produksi dari semen OPC dengan penambahan kapur sebesar 5,4% jika dibandingkan dengan blanko, yaitu sebagai berikut:

Contoh Perhitungan Biaya Produksi 1000 ton Semen OPC

Harga per ton

$$\begin{aligned} \text{Klinker + Gypsum} &= x \\ \text{Kapur} &= y, \text{ dimana } y = 0,4x \end{aligned}$$

Biaya 1000 ton semen OPC

$$\begin{aligned} \text{Sampel A (blanko)} &= 1000x \\ \text{Sampel dengan 5,4\% kapur} &= 946x + 54y \\ &= 946x + 54(0,4x) \\ &= 946x + 21,6x \\ &= 967,6x \end{aligned}$$

Jadi, dengan penambahan kapur sebesar 5,4% dapat menghemat biaya sekitar 32,4x dalam produksi semen jika dibandingkan dengan blanko dalam memproduksi 1000 ton semen.

Dari penelitian ini, yang hanya diambil dari beberapa sampel saja, maka dengan penambahan kapur dapat mengurangi kadar penggunaan klinker (terak) sehingga dalam pembuatan semen tidak begitu membutuhkan banyak klinker. Karena diketahui bahwa dalam proses pembuatan klinker digunakan batubara dalam proses pembakaran dengan suhu tinggi. Dari proses pembakaran tersebut, dihasilkan gas CO_2 di udara yang dapat berdampak negatif bagi lingkungan sekitar. Serta dengan mengurangi jumlah klinker, jumlah biaya produksi dalam pembuatan semen juga dapat dikurangi.

Aspek kualitasnya didasarkan pada pengujian *setting time* dan kuat tekannya. Karena dengan penambahan kapur sebesar 5,4% tersebut, nilai *setting time* dan kuat tekan masih memenuhi kriteria standar mutu dari PT Semen Indonesia (Persero), Tbk. Apabila ditinjau dari aspek energi, dengan menggunakan penambahan kapur sebesar 5,4% dapat menghemat penggunaan terak atau klinker. Hal ini berkaitan dengan efisiensi dengan biaya dan energi dari produksi semen.

4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian tentang penambahan kadar kapur sebagai *filler* pada semen OPC, dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu Nilai optimum didapatkan pada saat penambahan kapur (CaCO_3) sebesar 5,5% berdasarkan interpolasi linier dengan perbandingan blanko. Akan tetapi, lebih aman jika nilai optimum yang digunakan sebagai acuan untuk PT Semen Indonesia (Persero) Tbk yaitu sebesar 5,4%. Nilai *setting time* dan

kuat tekan yang didapatkan masih memenuhi standar yang telah ditetapkan oleh PT Semen Indonesia (Persero), Tbk.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada PT Semen Indonesia (Persero) Tbk yang berkontribusi pada kegiatan penelitian ini dalam pengambilan data dan pengolahan data.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Arifi, E. (2016). Pemanfaatan Fly Ash Sebagai Pengganti Semen Parsial Untuk Meningkatkan Performa Beton Agregat Daur Ulang. *Rekayasa Sipil*, 9 (3), 229–235.
- ASTM, C. (2004). 191. Standard Test Method For Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle. *American Society for Testing and Materials*, 100, 19428–2959.
- Davidovits, J. (1994). *Global Warming Impact on the Cement and Aggregates Industries*. 23.
- Deja, J., Uliasz-Bochenczyk, A., & Mokrzycki, E. (2010). CO₂ emissions from Polish cement industry. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 4(4), 583–588.
- Hidayat, S. (2009). *Semen: Jenis & aplikasinya*. Kawan Pustaka.
- Rompas, G. P., Pangouw, J. D., Pandaleke, R., & Mangare, J. B. (2013). Pengaruh Pemanfaatan Abu Ampas Tebu Sebagai Substitusi Parsial Semen Dalam Campuran Beton Ditinjau Terhadap Kuat Tarik Lentur Dan Modulus Elastisitas. *Jurnal Sipil Statik*, 1 (2), Article 2.