

PENGARUH *KLINKER FACTOR* TERHADAP KUAT TEKAN SEMEN DI INDUSTRI SEMEN JAWA TIMUR

Mohamad Firdaus Beckha Ardiansyah dan Anang Takwanto

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia
ardibeckha1@gmail.com; a.takwanto@gmail.com

ABSTRAK

Proses produksi semen menggunakan bahan baku yang berasal dari tambang yang digunakan untuk proses produksi semen yaitu batu kapur, batu silika, tanah liat dan pasir besi dengan komposisi tertentu. Bahan baku tersebut juga berasal dari batu alam yang mengandung oksida-oksida kalsium, alumina, silika, dan besi. Klinker berbentuk padat dengan ukuran diameter sebesar 3 – 25 mm. Klinker yang terbentuk, selanjutnya digiling dalam *clinker breaker*. *Clinker breaker* merupakan mesin penggilingan klinker sebelum menjadi semen, proses yang terjadi di dalam *clinker breaker* yaitu klinker ditambahkan dengan *gypsum* dan material $\frac{3}{4}$ (*limestone* dan *pozzoland*) menghasilkan semen yang siap untuk dijual. Pengujian yang digunakan adalah uji kuat tekan. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan informasi tentang kandungan klinker semen yang berpengaruh terhadap kuat tekan semen. Sebelum dilakukannya uji kuat tekan dilakukannya uji faktor klinker dengan alat XRD. Pembuatan benda uji menggunakan 3 sampel yang berbeda yaitu semen OPC, semen PPC, dan semen Masonry. Hasil dari pengujian dengan alat XRD didapatkan proporsi C_3S paling tinggi pada sampel semen OPC sebesar 58,17%. Diikuti dengan sampel semen PPC sebesar 40,03%, dan semen Masonry sebesar 33,63%. Setelah dilakukan pengujian kuat tekan, urutan sampel semen yang memiliki rata-rata kuat tekan dari paling tinggi yaitu sampel semen OPC, semen PPC, dan semen Masonry. Oleh karena itu, C_3S dipilih sebagai mineral yang dicari korelasinya terhadap kuat tekan. Hasil pengujian dengan alat XRD didapatkan C_3S paling tinggi pada sampel semen OPC sebesar 58,17%.

Kata kunci: Semen, klinker, kuat tekan

ABSTRACT

The cement production process uses raw materials derived from mines used for the cement production process, namely limestone, silica stone, clay and iron sand with a certain composition. The raw materials are also derived from natural stone containing oxides of calcium, alumina, silica and iron. Clinker is solid with a diameter of 3-25 mm. The clinker formed is then ground in a clinker breaker. Clinker breaker is a clinker grinding machine before it becomes cement, the process that occurs in the clinker breaker is that clinker is added with gypsum and material $\frac{3}{4}$ (limestone and pozzoland) to produce cement that is ready for sale. The test used is the compressive strength test. This study aims to provide information about the content of cement clinker that affects the compressive strength of cement. Before the compressive strength test, the clinker factor test was carried out with XRD equipment. Making test objects using 3 different samples, namely OPC cement, PPC cement, and Masonry cement. The results of testing with XRD tools obtained the highest proportion of C_3S in the OPC cement sample of 58.17%. Followed by PPC cement sample of 40.03%, and Masonry cement of 33.63%. After compressive strength testing, the order of cement samples that have the highest average compressive strength are OPC cement, PPC cement, and Masonry cement samples. Therefore, C_3S was chosen as the mineral to correlate with the compressive strength of the cement samples.

Keywords: Cement, klinker, compressive strength

1. PENDAHULUAN

Proses pembuatan semen melibatkan bahan baku yang diambil dari tambang, seperti batu kapur, batu silika, tanah liat, dan pasir besi, dengan komposisi yang telah ditentukan. Bahan-bahan tersebut juga berasal dari batu alam yang mengandung berbagai oksida, termasuk kalsium, alumina, silika, dan besi [1]. Bahan baku selanjutnya digiling dalam *raw mill* untuk menghasilkan campuran mentah (*raw mix*) yang kemudian disimpan di dalam silo sebelum melanjutkan ke tahap berikutnya. Campuran mentah tersebut diproses lebih lanjut di dalam kiln melalui tahap kalsinasi (pada suhu 900-1000°C), transisi (pada suhu 1000-1250°C), pembakaran (pada suhu 1250-1450°C), dan pendinginan dalam *cooler* hingga mencapai suhu sekitar $\pm 1300^\circ\text{C}$ untuk membentuk klinker. Selama proses pemanasan di dalam kiln, reaksi fisika dan kimia terjadi secara bersamaan, serta interaksi antar molekul yang menghasilkan senyawa klinker [2]. Kiln adalah sistem dengan parameter yang terdistribusi yang menunjukkan perilaku dinamis yang sangat rumit terhadap reaksi kimia [3].

Klinker berbentuk padat dengan ukuran diameter sebesar 3 – 25 mm [4]. Klinker yang dihasilkan kemudian digiling menggunakan *klinker breaker*. *Klinker breaker* adalah mesin yang menggiling klinker sebelum diubah menjadi semen. Dalam proses di dalam *klinker breaker*, klinker dicampur dengan gypsum dan material $\frac{3}{4}$ (seperti *limestone* dan *pozzoland*), yang menghasilkan semen yang siap dipasarkan [5]. Proses pembakaran atau pembuatan klinker, yang merupakan komponen utama semen, adalah tahap yang sangat krusial, sehingga kiln sering disebut sebagai inti dari pabrik semen [6]. Alasan lain mengapa *Rotary kiln* dianggap sebagai alat yang penting adalah karena kondisi operasinya yang "ekstrem," terutama terkait dengan suhu, sehingga kesalahan dalam penanganannya dapat berakibat fatal [7]. Untuk mendapatkan sifat semen yang diinginkan, berbagai aditif seperti *gypsum*, batu kapur, abu terbang, dan tras ditambahkan pada klinker selama proses pendinginan di *kiln mill* [8].

Kualitas klinker sangat mempengaruhi kualitas semen. Oleh karena itu, industri semen terus berupaya memperhatikan kualitas klinker melalui pengendalian kualitas secara terus menerus. Bagaimanapun juga klinker adalah yang memberi kontribusi terbesar terhadap kekuatan semen [9]. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan informasi tentang kandungan klinker semen yang berpengaruh terhadap kuat tekan semen. Penelitian ini diharapkan dapat dijadikan referensi sebagai bahan evaluasi untuk meningkatkan kualitas semen dan mampu untuk bersaing dengan kompetitor.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Rotary Kiln adalah Tungku yang dibuat seperti ruangan, tempat membakar material yang memerlukan suhu tinggi. Material yang keluar dari *cyclone* lewat *riser duct* diumpankan ke dalam kiln dengan temperatur masuk $\pm 890^\circ\text{C}$. Material akan mengalami proses pembakaran menjadi klinker. Klinkerisasi adalah proses pembentukan senyawa-senyawa penyusun semen *portland* baik dalam fase padat maupun fasa cair [10]. Karena kalsinasi 91% sudah terjadi pada sebelumnya, maka umpan di dalam Kiln akan mengalami kalsinasi lebih lanjut hingga 100% pada *calcining zone* dengan temperatur 900 – 1000°C, kemudian diteruskan melewati *transition zone* dengan suhu sekitar 1000 – 1260°C. Di daerah ini terjadi perubahan material ke fasa cair. Setelah itu material melewati *burning*

zone dengan suhu 1260 – 1510°C, sehingga terjadi reaksi dalam fasa cair menghasilkan senyawa klinker yaitu C_2S (*belite*), C_3S (*alite*), C_3A (*celite*), dan C_4AF (*felite*) [2]. C_3S merupakan mineral utama dalam klinker dan memiliki proporsi 45% – 70%, proporsinya berbanding terbalik dengan C_2S yang biasanya memiliki proporsi 5% – 30% [11]. Dinding bagian luar Kiln di daerah *burning zone* dilengkapi dengan 12 *Fan* yang berfungsi untuk mencegah kerusakan dinding Kiln akibat adanya pembakaran Kiln yang mempunyai temperatur sangat tinggi yaitu 1450°C.

Setelah klinker keluar dari *burning zone*, klinker atau terak dengan *moisture* < 1% berubah menjadi bentuk kristal karena mengalami proses pendinginan yang terjadi di 2 tempat yaitu pertama terjadi di dalam kiln yaitu di daerah *cooling zone* dan selanjutnya diteruskan di luar kiln yaitu di dalam *klinker cooler* [12]. Pendinginan di dalam kiln disebabkan adanya udara sekunder yang berasal dari *klinker cooler* dengan suhu sekitar 1200°C – 1250°C akan mengalami pendinginan lebih lanjut di dalam *klinker cooler*. Pendinginan biasa dilakukan secara *quenching* yang bertujuan untuk pengambilan panas yang akan dimanfaatkan kembali untuk udara pembakaran [13].

2.1 Persiapan Bahan Uji

Pada penelitian ini dilakukan uji kandungan klinker yang berpengaruh terhadap kuat tekan semen, alat dan bahan yang digunakan sebagai berikut:

Alat:

- a) Alat X-Ray Diffraction (XRD)
- b) Alat rojoh
- c) Alat penyimpan benda uji
- d) Cetakan kubus 5x5 cm
- e) *Flow table*
- f) *Mixer*
- g) Sendok
- h) Wadah sampel
- i) Pisau segi tiga
- j) Alat uji tekan
- k) Timbangan analitik
- l) Penggaris
- m) *Stopwatch*

Bahan:

- a) Semen OPC
- b) Semen PPC
- c) Semen Masonry
- d) Air
- e) Pasir *Graded Sand Ottawa*

2.2 Uji Faktor Klinker dengan Alat XRD

Sebelum membuat benda uji, dilakukan pengujian sampel dengan menggunakan bantuan alat XRD (*X-Ray Diffraction*).

Pertama-tama, timbang sebanyak 10 gram klinker. Giling klinker menggunakan alat Herzog selama 10 detik untuk memperoleh ukuran partikel yang diinginkan. Setelah proses penggilingan, lanjutkan dengan tahap pengujian. Timbang masing-masing sampel semen sebanyak 0,95 gram dan masukkan sampel-sampel tersebut secara bergantian ke dalam alat XRD. Catat hasil uji yang diperoleh dari alat tersebut. Untuk memastikan keakuratan hasil, ulangi langkah penggilingan dan pengujian dengan sampel yang berbeda.

2.3 Pembuatan Benda Uji

Dalam pembuatan benda uji (mortar) dari masing-masing sampel, takaran air dan pasir yang dibutuhkan berbeda. Dari setiap sampel dibuat 6 buah benda uji berupa mortar. Mortar dibuat dari sampel semen OPC, PPC, dan Masonry. Pembuatan mortar sampel OPC diawali dengan menimbang sampel semen sebanyak 500 gram, air sebanyak 242 gram, dan pasir *graded sand Ottawa* sebanyak 1375 gram. Masukkan air dan semen ke dalam wadah pengaduk, lalu aduk dengan kecepatan 1 selama 30 detik. Setelah itu, masukkan pasir ke dalam wadah pengaduk dan tunggu selama 1 menit. Selanjutnya, matikan mixer, ganti ke kecepatan 2, dan nyalakan kembali mixer, lalu tunggu selama 1 menit 30 detik. Setelah proses tersebut, matikan mixer dan turunkan adonan yang mulai naik ke atas, kemudian diamkan selama 3 menit. Mixer kembali adonan selama 4 menit sebelum mencetaknya ke dalam cetakan. Akhirnya, simpan cetakan di lemari penyimpanan selama 1 hari untuk proses pematangan.

Sedangkan untuk pembuatan mortar sampel semen PPC, pertama-tama menimbang 500 gram semen dan 1375 gram pasir *graded sand ottawa*. Selanjutnya, timbang air berdasarkan perkiraan yang diperlukan. Masukkan air dan semen ke dalam wadah pengaduk, lalu aduk dengan kecepatan 1 selama 30 detik. Setelah 30 detik, tambahkan pasir ke dalam wadah pengaduk dan biarkan selama 1 menit. Kemudian, matikan mixer, ganti ke kecepatan 2, nyalakan kembali mixer, dan tunggu selama 1 menit 30 detik. Setelah itu, matikan mixer, turunkan adonan yang mulai naik ke atas, dan diamkan selama 1 menit 30 detik. Mixer kembali adonan selama 4 menit untuk memastikan campuran merata. Cetak adonan semen di atas flow table dan hentakkan sebanyak 25 kali. Ukur diameter adonan; jika diameter berada dalam rentang 20,8 – 21,8 cm, berarti jumlah air sudah sesuai dan mortar siap dicetak. Jika tidak, ulangi langkah-langkah dari awal. Setelah proses pencetakan selesai, simpan adonan di lemari penyimpanan selama 1 hari.

Mortar sampel semen masonry dibuat dengan menimbang 500 gram semen, dan bagi air sesuai perkiraan yang diperlukan. Timbang juga 810 gram pasir *graded sand Ottawa* dan 810 gram pasir *Ottawa*. Masukkan air dan semen ke dalam wadah pengaduk, lalu aduk dengan kecepatan 1 selama 30 detik. Setelah itu, tambahkan pasir ke dalam wadah pengaduk dan biarkan selama 1 menit. Kemudian, matikan mixer, ganti ke kecepatan 2, nyalakan kembali mixer, dan tunggu selama 1 menit 30 detik. Setelah mixer dimatikan, turunkan adonan yang mulai naik ke atas, dan diamkan selama 3 menit. Mixer kembali adonan selama 4 menit untuk memastikan homogenitas. Cetak adonan semen di atas flow table dan hentakkan sebanyak 25 kali. Ukur diameter adonan; jika diameter berada dalam rentang 20,8 – 21,8 cm, maka jumlah air sudah sesuai dan mortar siap dicetak. Jika diameter tidak sesuai, ulangi langkah-langkah dari awal. Setelah pencetakan, simpan adonan di lemari penyimpanan selama 1 hari.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini diambil data-data untuk mendukung dan menentukan nilai kuat tekan semen yang digunakan. Terdapat beberapa tahap saat dilakukannya pengamatan ini yaitu penggilingan klinker semen, uji kandungan klinker semen, pembuatan benda uji, pencetakan benda uji, pengeringan dan perendaman, dan uji kuat tekan semen.

Uji yang dilakukan pertama kali adalah uji sampel dengan alat XRD. XRD merupakan alat yang digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristal dalam mineral dengan cara menentukan parameter struktur kisi. Ketiga sampel diuji dengan alat ini secara bergantian. Dari pengujian yang telah dilakukan didapatkan data yang tertera pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Uji sampel dengan alat XRD

Komposisi	Semen OPC (%)	Semen PPC (%)	Semen Masonry (%)
Klinker	89,34	63,12	53,52
Gypsum	2,13	1,41	3,16
Limestone	6,70	27,70	15,07
Pozzolan	1,84	7,77	28,25

Tabel 2. Komposisi mineral *klinker*

Komposisi	Semen OPC (%)	Semen PPC (%)	Semen Masonry (%)
C ₃ S	58,17	40,03	33,63
C ₂ S	12,91	9,81	9,95
C ₃ A	7,74	5,1	4,53
C ₄ AF	10,52	8,18	5,41

3.1. Kuat Tekan Semen

Kuat tekan semen mengacu pada kemampuan semen untuk menahan tekanan atau beban kompresi tanpa mengalami deformasi yang permanen atau kerusakan struktural. Dari pengujian yang telah dilakukan didapatkan data pada Tabel 3 sebagai berikut.

Tabel 3 Hasil pengamatan kuat tekan semen

Waktu Pengamatan	Jenis Semen	Kuat Tekan (kgs/cm ²)		Rata-Rata
Hari Ke-1	OPC	119,7	122,7	242,4
	PPC	49,2	51	50,1
	MASONRY	53,2	54,5	53,85
Hari Ke-3	OPC	256	262,4	259,2
	PPC	144,4	154	149,2
	MASONRY	130,1	131	130,55
Hari Ke-7	OPC	329,6	326,7	328,15
	PPC	208,7	213,7	211,2
	MASONRY	170,2	167	168,6

Berdasarkan data yang diperoleh, terdapat perbedaan dalam kuat tekan antara semen OPC, PPC, dan Masonry. Perbedaan ini disebabkan oleh variasi proporsi mineral klinker yang terdapat dalam setiap jenis semen. Penting untuk mengetahui proporsi mineral dalam klinker guna menilai kualitas semen, khususnya dalam hal kuat tekan. Kualitas semen, terutama kuat tekan, dipengaruhi oleh mineral klinker. Semen dengan proporsi C₃S yang tinggi cenderung lebih diminati karena menghasilkan kuat tekan yang baik [14]. Hasil pengujian menggunakan alat XRD menunjukkan bahwa proporsi C₃S tertinggi terdapat pada sampel semen OPC, yaitu sebesar 58,17%. Selanjutnya, sampel semen PPC mengandung C₃S sebanyak 40,03%, sedangkan semen Masonry memiliki proporsi C₃S sebesar 33,63%. Setelah pengujian kuat tekan dilakukan, rata-rata kuat tekan tertinggi diperoleh dari sampel semen OPC, diikuti oleh semen PPC, dan yang terakhir adalah semen Masonry. Pada hari ke-7, semen OPC menunjukkan kekuatan tekan sebesar 329,6 kgs/cm². Penelitian serupa juga

dilakukan oleh Surya [15], dimana hasil uji kuat tekan semen OPC pada hari ke-7 sebesar 400 kgs/cm². Dengan demikian, C₃S dipilih sebagai mineral yang akan dianalisis korelasinya terhadap kuat tekan. Proses hidrasi antara C₃S dan air (H₂O) menghasilkan senyawa 3CaO.2SiO₂.3H₂O (CSH) atau *Calcium Silicate Hydrates* [16]. Semen OPC pada hari ke-7 memiliki kekuatan tekan sebesar 329,6 kgs/cm². CSH bertindak sebagai senyawa pengikat utama dan menyumbang kuat tekan pada semen.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, mineral dalam klinker meliputi C₃S, C₂S, C₃A, dan C₄AF sangat berpengaruh dalam kualitas semen terutama kuat tekan. Mineral klinker mempengaruhi kualitas semen terutama kuat tekan, semen dengan proporsi C₃S tinggi cenderung diminati karena menghasilkan kuat tekan yang baik. Hasil pengujian dengan alat XRD didapatkan C₃S paling tinggi pada sampel semen OPC sebesar 58,17%. Diikuti dengan sampel semen PPC sebesar 40,03%, dan semen Masonry sebesar 33,63%.

Untuk penelitian selanjutnya, perlu dilakukan variasi kembali terhadap proporsi masing-masing mineral yang digunakan. Dengan adanya variasi dari proporsi mineral yang digunakan dapat mengetahui kekuatan dari semen yang berbeda.

REFERENSI

- [1] D. A. Riskiah dan Safaruddin, "Proses Produksi Semen Portland PT . Semen Baturaja," *Jurnal Multidisipliner Bharasumba*, vol. 1, no. 3, hal. 429–444, 2022.
- [2] P. Wijayanto, R. Adiwijaya, dan Safaruddin, "Efisiensi Panas Pada Rotary Kiln PT. Semen Baturaja (Persero) Tbk.," *Research Gate*, vol. 1, no. 1, hal. 1–6, 2022.
- [3] H. A. Spang, "A Dynamic Model of A Cement Kiln," *Automatica*, vol. 8, no. 3, hal. 309–323, 2016.
- [4] B. Rahmawati dan R. W. Damayanti, "Pengendalian Kualitas Produk Klinker Pada PT. XYZ Dengan Menggunakan Grafik T2 Hotteling," dalam *Prosiding Seminar dan Konferensi Nasional*, 2017, hal. 365–374.
- [5] A. Ahmad, "Application of Cement Kiln Dust Enhancing Methane Production Using Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor for The Treatment of Palm Oil Mill Effluent," *Indian Journal of Chemical Technology*, vol. 23, no. 1, hal. 31–38, 2016.
- [6] A. Zahidin dan L. Rubianto, "Perhitungan Neraca Massa, Neraca Panas, Dan Efisiensi Pada Rotary Kiln Unit Kerja RKC 3 PT Semen Indonesia (Persero) Tbk.," *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 6, no. 2, hal. 309–315, 2020.
- [7] R. Perdana Ts, L. Cundari, Safaruddin, dan Robiansyah, "Analisa Efisiensi Alat Rotary Kiln di Pabrik II PT Semen Baturaja (Persero) Tbk. Ditinjau dari Efisiensi Thermal," *Jurnal Multidisipliner Bharasumba*, vol. 1, no. 3, hal. 611–618, 2022.
- [8] I. Purnawan dan A. Prabowo, "Pengaruh Penambahan Limestone terhadap Kuat Tekan Semen Portland Komposit," *Jurnal Rekayasa Proses*, vol. 11, no. 2, hal. 86–93, 2017.
- [9] L. Black, *Low Clinker Cement as a Sustainable Construction Material*, Second Edi. Elsevier Ltd., 2016.

- [10] B. R. Ramadhan dan Safaruddin, "Evaluasi Kinerja Pembakaran Pada Unit Kiln di PT Semen Baturaja (Persero) Tbk.," *JUPITER: Jurnal Pengetahuan dan Ilmu Terapan*, vol. 3, no. 1, hal. 1–19, 2022.
- [11] J. P. Arsadha, R. Rimadhina, A. M. Jannah, R. Robiansyah, dan S. Safaruddin, "Analisa Pengaruh Mineral Klinker Terhadap Kuat Tekan Semen untuk Mendapatkan Proporsi Bahan Baku Portland Composite Cement (PCC) dengan Penurunan Faktor Klinker," dalam *Seminar Nasional AVoER XIV*, 2022, hal. 1–8.
- [12] R. Ayu, "Energy Auditing for Dry Process Rotary Kiln System in Cement Industries," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2016.
- [13] N. I. S. Tasya, P. Susmanto, dan Safaruddin, "Evaluasi Kinerja Rotary Kiln Pada PT. Semen Baturaja (Persero) Tbk.," *JALIM: Jurnal Terapan Internship dan Multidisiplin*, vol. 1, no. 5, hal. 456–463, 2022.
- [14] A. A. K. Bazari, M. Chini, Z. Nikfal, dan M. Vatani, "Effect of Clinker Phase Changes on Cement Performance and its Reactivity with Super Plasticizer Additive," *Journal of Civil Engineering and Materials Application*, vol. 5, no. 4, hal. 211–221, 2021.
- [15] W. B. Surya I. R. dan W. Widiawati, "Pengaruh Penambahan Bottom Ash Terhadap Karakteristik Dari Semen OPC (Ordinary Portland Cement) PT Semen Indonesia Tbk.," *Angewandte Chemie International Edition*, vol. 1, no. 7, hal. 97–104, 2023.
- [16] Marhaini, E. S. Yusmartini, dan K. Aini, "The Effect of Tricalcium Silicate (C3S) Percentage in Clinker on the Cement Quality," *International Journal of Engineering & Technology*, vol. 10, no. 1, hal. 23–27, 2021.