

Pengaruh Sifat Kimia Terhadap Unjuk Kerja Mortar

Lilies Widodojoko
Dosen Fakultas Teknik Universitas Bandar Lampung
Email : labtekniksipil_lw@yahoo.co.id

Abstrak

Oksida dominan semen portland terdiri dari CaO , SiO_2 , Al_2O_3 dan Fe_2O_3 . Oksida tersebut setelah diproses menjadi senyawa C_3S , C_2S , C_3A dan C_4AF . Reaksi hidrasi antara senyawa tersebut dengan air mempengaruhi unjuk kerja mortar yaitu pengikatan, pengerasan dan kecepatannya, panas hidrasi, kuat tekan dan ketahanan terhadap sulfat. C_3S mengeras dalam beberapa jam dan berpengaruh terhadap kekuatan beton pada umur awal, terutama pada 14 hari pertama. Sedangkan formasi senyawa C_2S berlangsung perlahan dengan pelepasan panas yang lambat, senyawa ini berpengaruh terhadap proses peningkatan kekuatan yang terjadi dari 14 hari sampai 28 hari. Tulisan ini membahas besarnya peningkatan kuat tekan mortar akibat kadar C_3S dan C_2S pada mortar. Data diambil dari laboratorium kimia dan fisika pabrik semen Baturaja.

Kata kunci: Trikalsium Silikat, Dicalcium Silikat, Kuat Tekan Mortar.

1. Pendahuluan.

Kekuatan beton tergantung dari mutu bahan pembentuk beton yaitu (1) Kekuatan agregat kasar, (2) Kekuatan mortar dan (3) Kelekatan antara agregat kasar dan mortar. Mortar adalah pengikat agregat kasar. Sedangkan mortar adalah pengikat agregat halus didalam mortar. Semakin kuat pengikatan, baik pengikatan secara kohesi yaitu didalam mortar itu sendiri, maupun pengikatan secara adhesi yaitu pengikatan antara mortar dan agregat kasar, maka mutu beton akan semakin tinggi. Kualitas mortar dan mortar dapat dilihat dari sifat kimianya. Karena itu mengetahui pengaruh sifat kimia terhadap unjuk kerja

mortar adalah hal yang penting untuk diteliti.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Senyawa kimia semen

Komposisi kimia semen portland pada umumnya terdiri dari CaO , SiO_2 , Al_2O_3 dan Fe_2O_3 , yang merupakan oksida dominan. Sedangkan oksida lain yang jumlahnya hanya beberapa persen dari berat semen adalah MgO , SO_3 , Na_2O dan K_2O . Lihat tabel 2.1.

Tabel 2.1 Susunan oksida semen Portland

Oksida	Persentase (%)
Kapur (CaO)	60 – 65
Silika (SiO ₂)	7 – 25
Alumina (Al ₂ O ₃)	3 – 8
Besi (Fe ₂ O ₃)	0,5 – 6
Magnesia (MgO)	0,5 – 4
Sulfur (SO ₃)	1 – 2
Potash (Na ₂ O + K ₂ O)	0,5 – 1

Keempat oksida utama tersebut di atas didalam semen berupa senyawa C₃S, C₂S, C₃A dan C₄AF, dengan mempunyai perbandingan tertentu pada setiap produk semen, tergantung pada komposisi bahan bakunya. Kadar rata rata dari keempat senyawa tersebut dapat dilihat pada tabel 2.2. Sifat-sifat kimia senyawa ini mempengaruhi kualitas mortar yang dihasilkan.

Tabel 2.2 Empat senyawa dari semen portland

Nama Senyawa	Rumus Oksida	Notasi	Kadar Rata rata (%)
Trikalسيوم Silikat	3CaO.SiO ₂	C ₃ S	50
Dikalسيوم Silikat	2CaO.SiO ₂	C ₂ S	25
Trikalسيوم Alumina	3CaO.Al ₂ O ₃	C ₃ A	12
Tetralسيوم Aluminoforit	4CaO.Al ₂ O ₃	C ₄ Af	8
Calcium sulfat dihidrat	CaSO ₄ .2H ₂ O	CSH ₂	3,5

Senyawa-senyawa kimia dari semen portland adalah **tidak stabil** secara termodinamis, sehingga sangat cenderung untuk bereaksi dengan air. Karena itu apabila semen dibiarkan terbuka, maka semen bisa mengeras karena senyawa tersebut bereaksi dengan uap air yang ada di udara.

Produk hidrasi dan kecepatan bereaksi dengan air dari setiap komponen senyawa berbeda-beda.

1. *Trikalسيوم Silikat (C₃S) = 3CaO.SiO₂*

Senyawa ini mengeras dalam beberapa jam dan dapat melepaskan panas, kualitas dan kuantitas yang terbentuk dalam ikatan menentukan pengaruh terhadap kekuatan beton pada awal umurnya, terutama pada 14 hari pertama.

2. *Dikalسيوم Silikat (C₂S) = 2CaO.SiO₂*

Formasi senyawa ini berlangsung perlahan dengan pelepasan panas yang lambat, senyawa ini berpengaruh terhadap proses peningkatan kekuatan yang terjadi dari 14 hari sampai 28 hari, memiliki ketahanan agresi kimia yang relatif tinggi, penyusutan yang relatif rendah.

3. *Trikalسيوم Alumina (C₃A) = 3CaO.Al₂O₃*

Senyawa ini mengalami hidrasi sangat cepat disertai sejumlah besar panas, yang menyebabkan pengerasan awal, kurang ketahanan thd agresi kimiawi, menunjukkan desintegrasi (perpecahan) oleh sulfat yang ada di air tanah, mudah mengalami perubahan volume sehingga besar kemungkinan mengalami retak retak. Senyawa ini kurang diinginkan karena hanya memberikan sedikit sumbangan pada kekuatan mortar, dan apabila terjadi agresi sulfat, formasi calcium sulphoaluminate (ettringite) yang dihasilkan dapat menyebabkan disrubbtion.

4. *Tetralسيوم Aluminoforit (C₄Af) = 4CaO.Al₂O₃ FeO*

Adanya senyawa Aluminoforit kurang penting karena tidak tampak banyak pengaruh terhadap kekuatan dan sifat semen.

2.2. Unjuk kerja mortar.

2.2.1. Pengikatan dan Pengerasan (*Setting Time dan Hardening*).

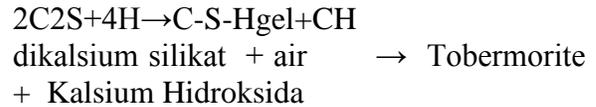
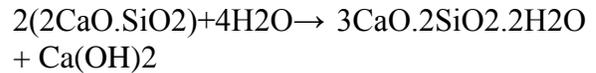
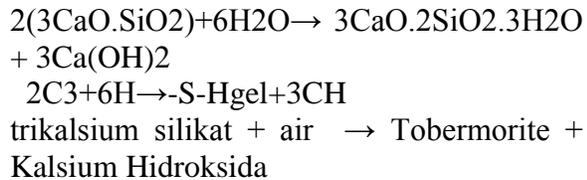
Bila semen bersentuhan dengan air, maka proses hidrasi berlangsung dari arah keluar ke arah ke dalam, maksudnya hasil hidrasi mengendap di bagian luar dan inti semen yang belum terhidrasi dibagian dalam secara bertahap akan terhidrasi, sehingga volume mengecil. Mekanisme terjadinya setting dan hardening yaitu ketika terjadi pencampuran dengan air, maka akan terjadi reaksi antara air dengan C3 A membentuk $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ yang bersifat kaku dan berbentuk gel. Untuk mengatur pengikatan perlu ditambahkan gypsum. Gypsum bereaksi dengan $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, membentuk lapisan ettringite yang akan membungkus permukaan senyawa tersebut. Namun karena ada peristiwa osmosis lapisan *ettringite* akan pecah dan reaksi hidrasi C3A akan terjadi lagi, namun akan segera terbentuk lapisan *ettringite* kembali yang akan membungkus $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ kembali sampai gypsum habis. Proses ini akhirnya menghasilkan perpanjangan *setting time*. Peristiwa diatas mengakibatkan reaksi hidrasi tertahan, Periode ini disebut *Dormant Periode* yang terjadi selama 1-2 jam, dan selama itu pasta masih dalam keadaan plastis dan mudah dibentuk, periode ini berakhir dengan pecahnya *coating* dan reaksi hidrasi terjadi kembali dan *initial set* mulai terjadi. Selama periode ini beberapa jam, reaksi dari $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (C3S) terjadi dan menghasilkan CSH. CSH semen akan mengisi rongga dan membentuk titik-titik kontak sehingga menghasilkan kekakuan. Pada tahap berikutnya terjadi pengikatan konsentrasi CSH yang akan menghalangi mobilitas partikel partikel semen. Sehingga akhirnya pasta menjadi kaku dan final setting tercapai, lalu proses pengerasan mulai terjadi. Kecepatan reaksi hidrasi maksimum pada tahap awal dan kemudian menurun terhadap waktu. Ini disebabkan

makin banyaknya CSH pada kristal semen. Makin tebal lapisan, makin lambat hidrasi. Secara teoritis, proses hidrasi akan terhenti apabila tebal lapisan mencapai 25 mikron. Semen Portland pada umumnya memiliki ukuran kristal antara 5 hingga 50 mikron. Proses hidrasi semen memerlukan air sebanyak 20% dari berat semen (faktor air semen $w/c = 0,2$). CSH adalah senyawa kimia yang menentukan kuat tekan mortar. Pengikatan semu (*false set*) adalah reaksi hidrasi yang belum waktunya, yaitu beberapa menit saja. Hal itu terjadi karena jumlah gypsum dalam campuran berlebih. Jika diaduk kembali tanpa menambah air maka daya plastisitasnya akan kembali dan kehilangan kekuatan akhir tidak akan terjadi. Sedangkan pengikatan kilat (*flash set*

quick set) terjadi karena pengaruh panas oleh reaksi C3A dengan air yang cepat/, karena kandungan C3A yang tinggi atau gypsum dalam semen kurang jumlahnya. Pengadukan tambahan pada beton tidak akan mengembalikan plastisitas beton. Agar beton dapat digunakan, maka harus ditambahkan air dan semen kedalam campuran agar factor air semen tetap konstan. Reaksi kimia yang terjadi pada proses hidrasi pada tiap senyawa kimia sebagai berikut.

a. Mekanisme hidrasi *silicate* (C3S dan C2S)

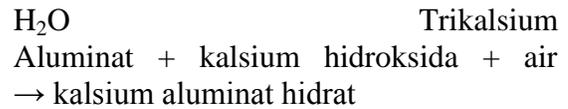
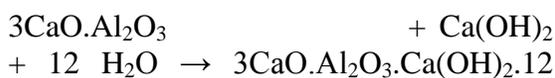
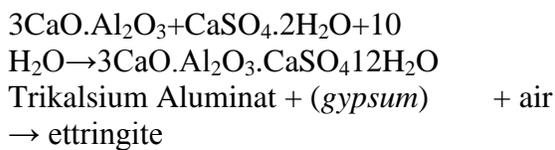
Kalsium silikat akan terhidrasi menjadi gel kalsium silikat hidrat (gel tobermorite) dan kalsium hidroksida. Gel kalsium silikat hidrat sering disingkat CSH, memiliki komposisi yang bervariasi berbentuk rongga sebanyak 70% dari semen. Kalsium hidroksida yang dihasilkan akan membuat sifat basa kuat (pH 12,5). Ini menyebabkan semen sensitive terhadap asam dan mencegah timbulnya karat pada besi baja.



b. Mekanisme hidrasi Aluminat (C3A)

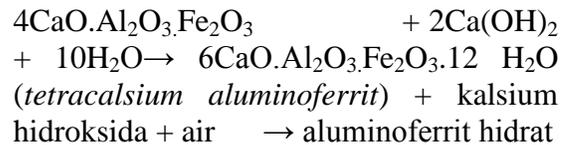
Reaksi C3A terjadi secara mendadak (begitu semen kontak dengan air) dengan disertai pengeluaran panas yang tinggi. Akan terbentuk kristal kalsium aluminat hidrat yang menyebabkan pengerasan (hardening) mortar. Kejadian ini disebut flash set atau quick set. Untuk

pengeluaran panas yang tinggi. Akan terbentuk kristal kalsium aluminat hidrat yang menyebabkan pengerasan (hardening) mortar. Kejadian ini disebut flash set atau quick set. Untuk menghindari hal itu, maka ditambahkan gypsum pada saat penggilingan klinker seperti sudah dijelaskan pada bab di atas. C3A dan $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ dan gypsum akan bereaksi lebih dulu, menghasilkan kalsium sulfo aluminat. Kristal kalsium sulfo aluminat yang terbentuk serupa jarum dan disebut ettringite. Sebelum terpecah karena tekanan osmosis, ettringite memblokir air dari permukaan C3A sehingga menunda proses hidrasi C3A, sehingga memperpanjang setting time. Adanya gipsum di dalam semen menyebabkan reaksi *calcium aluminat* menghasilkan *calcium sulfo aluminat hidrat*.



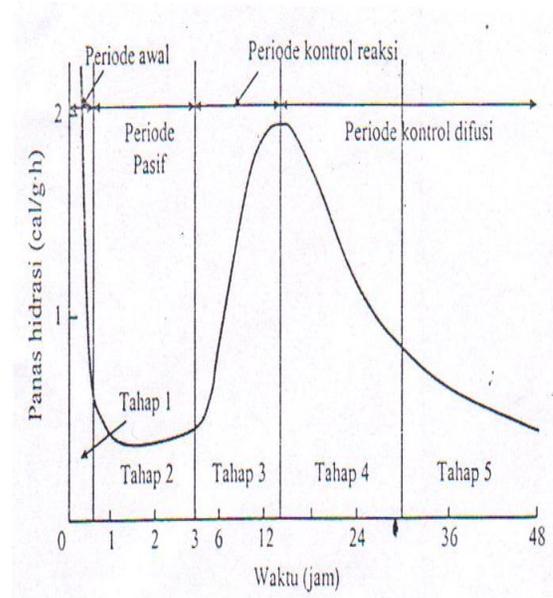
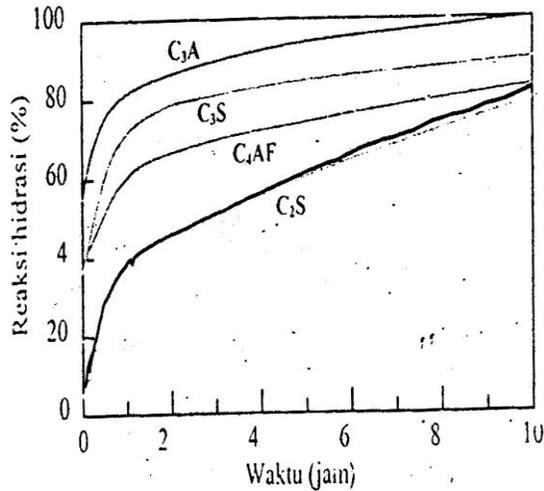
c. Mekanisme hidrasi tetracalsium aluminoferrit (C4AF)

Pada tahap awal, C₄AF bereaksi dengan gypsum dan kalsium hidroksida membentuk kalsium sulfo aluminat hidrat dan kalsium sulfo ferrit hidrat yang kristalnya berbentuk jarum.



2.2.2. Kecepatan Pengikatan dan Pengerasan

Hidrasi dimulai dari bagian luar butir semen, dengan demikian maka semakin halus partikel semen, maka reaksi hidrasi akan semakin cepat, waktu pengikatannya semakin singkat dan pertambahan kekuatan awal semakin cepat. Kerugiannya adalah panas yang dihasilkan makin tinggi, sehingga diperlukan perawatan yang baik. Sedangkan kecepatan pengikatan dan pengerasan dari empat senyawa utama semen yaitu C₃S, C₂S, C₃A dan C₃Af dapat dilihat pada gambar 1.ref. 5 hal 33.



2.2.4. Kuat tekan mortar.

Kuat tekan mortar seiring dengan kuat tekan mortar. Pengujian kuat tekan mortar biasanya tidak dilakukan, yang disyaratkan oleh peraturan adalah kuat tekan mortar. Kuat tekan merupakan sifat yang paling penting bagi mortar ataupun beton. Kuat tekan dimaksud sebagai kemampuan suatu material untuk menahan suatu beban tekan. Kuat tekan dipengaruhi oleh komposisi mineral utama. C₃S memberikan kontribusi yang besar pada perkembangan kuat tekan awal, sedangkan C₂S memberikan kekuatan semen pada umur yang lebih lama. C₃A mempengaruhi kuat tekan sampai pada umur 28 hari dan selanjutnya pada umur berikutnya pengaruh ini semakin kecil. Perkembangan kuat tekan yang diakibatkan oleh empat senyawa utama

semen yaitu C₃S, C₂S, C₃A dan C₃Af dapat dilihat pada gambar 2 .ref. 6. buku Brooks hal 15.

3. Metode penelitian.

Metode penelitian adalah dengan mencari hubungan matematis antar kadar C₃S, C₂S kuat tekan mortar pada umur 3 hari, 7 hari dan 28 hari.

Uji kadar C₃S, C₂S serta kuat tekan mortar dilakukan oleh pabrik semen Baturaja pada bulan Maret 2010 sampai bulan Juli 2010. Uji kadar C₃S, C₂S serta kuat tekan mortar dilakukan sesuai SNI 15 - 2049 - 2004.

4. Analisa matematis.

4.1. Data sifat kimia dan sifat fisika.

Data kimia (Kadar C₃S dan C₂S) dan data fisika (kuat tekan mortar pada umur 3,7 dan 28 hari) dapat dilihat pada tabel 1.

11: Data kimia dan fisika semen

Data No	Tanggal										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Seman	9-Mar 15-Mar 26-Mar 29-Mar 5-Apr 12-Apr 19-Apr 26-Apr 5-Mey 11-Mey										
Seperti											
Ta-Kalsium Silikat (C3S) %	49.79	40.39	57.32	36.23	44.33	46.96	38.25	50.17	44.20	47.06	
Ta-Kalsium Silikat (C2S) %	15.76	25.93	12.87	26.54	19.48	15.36	26.42	11.65	17.74	19.20	
Kuat Tekan											
Umur 3 hari	kg/cm ²	275	267	226	225	258	262	224	259	226	204
Umur 7 hari	kg/cm ²	319	358	278	282	342	314	289	359	266	256
Umur 28 hari	kg/cm ²	449	497	362	351	425	411	367	438	319	340

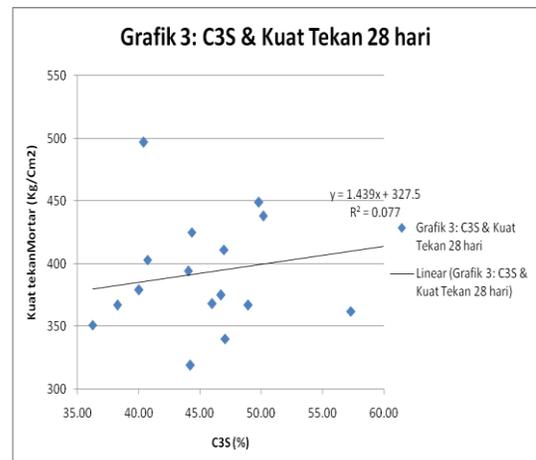
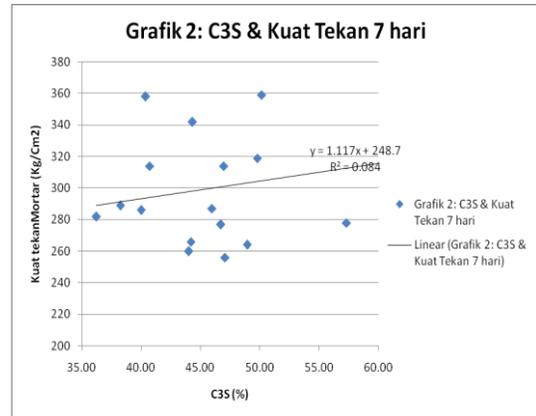
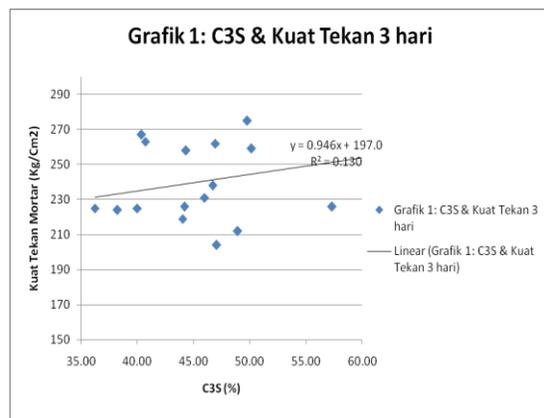
2	Ta-Kalsium Silikat (C2S) %	15.76	25.93	12.87	26.54	19.48	15.36	26.42	11.65	17.74	19.20
Kuat Tekan											
Umur 3 hari	kg/cm ²	275	267	226	225	258	262	224	259	226	204
Umur 7 hari	kg/cm ²	319	358	278	282	342	314	289	359	266	256
Umur 28 hari	kg/cm ²	449	497	362	351	425	411	367	438	319	340

Tabel 1: Data kimia dan fisika semen (lanjutan)

Data No	Tanggal									
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Seman	17-Mey 24-Mey 6-Juni 13-Juni 20-Juni 27-Juni 5-Jul 12-Jul 19-Jul 26-Jul									

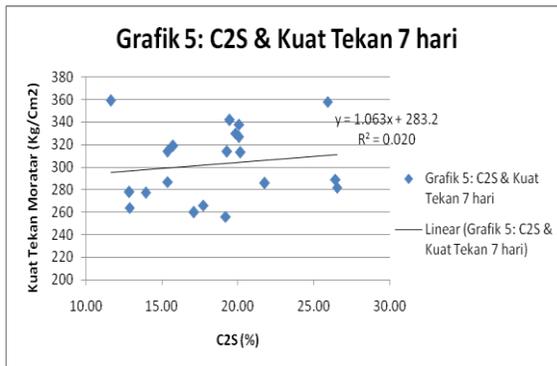
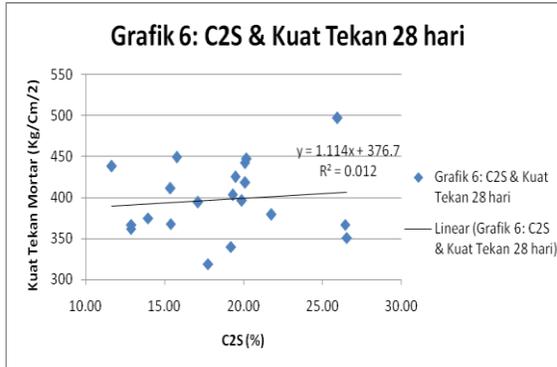
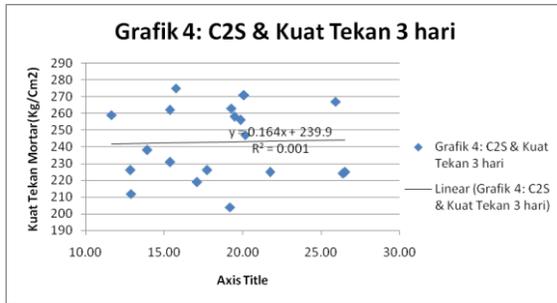
4.2. Hubungan antara kadar C3S dengan kuat tekan mortar

Hubungan antara kadar C3S dengan kuat tekan mortar pada umur 3, 7 dan 28 hari dapat dilihat pada grafik 1, 2 dan 3.



4.3.. Hubungan antara kadar C2S dengan kuat tekan mortar

Hubungan antara kadar C2S dengan kuat tekan mortar pada umur 3, 7 dan 28 hari dapat dilihat pada grafik 4, 5 dan 6.



Hubungan antara C2S dengan kuat tekan mortar pada umur 3, 7 dan 28 hari dapat dilihat pada tabel 3.

4.4. Persamaan hubungan antara kadar C3S dan C2S dengan kuat tekan mortar

Hubungan antara C3S dengan kuat tekan mortar pada umur 3, 7 dan 28 hari dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2: Hubungan antara umur mortar dengan laju kecepatan kenaikan kuat tekan akibat pengaruh kadar C3S

Umur (hari)	Persamaan C3S & Kuat Tekan	Kemiringan Kurva (Laju kecepatan)
3	$y = 0,946x + 197$	0.947
7	$y = 1,117x + 248,7$	1.117
28	$y = 1,439x + 327,5$	1.439

Hubungan antara C2S dengan kuat tekan mortar pada umur 3, 7 dan 28 hari dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3: Hubungan antara umur mortar dengan laju kecepatan kenaikan kuat tekan akibat pengaruh kadar C2S

Umur (hari)	Persamaan C2S & Kuat Tekan	Kemiringan Kurva (Laju kecepatan)
3	$y = 0,164x + 239,9$	0.164
7	$y = 1,063x + 283,2$	1.063
28	$y = 1,114x + 376,7$	1.114

Tabel 2: Hubungan antara umur mortar dengan laju kecepatan kenaikan kuat tekan akibat pengaruh kadar C3S

Umur (hari)	Persamaan C3S & Kuat Tekan	Kemiringan Kurva (Laju kecepatan)
3	$y = 0,946x + 197$	0.947
7	$y = 1,117x + 248,7$	1.117
28	$y = 1,439x + 327,5$	1.439

Tabel 3: Hubungan antara umur mortar dengan laju kecepatan kenaikan kuat tekan akibat pengaruh kadar C2S

Umur (hari)	Persamaan C2S & Kuat Tekan	Kemiringan Kurva (Laju kecepatan)
3	$y = 0,164x + 239,9$	0.164
7	$y = 1,063x + 283,2$	1.063

5. Kesimpulan

Sebagai mana dijelaskan pada butir 2 diatas, maka C3S akan mengeras dalam beberapa jam dan melepaskan panas, berpengaruh terhadap kekuatan beton pada umur awal, terutama pada 14 hari pertama. Laju kecepatan kuat tekan mortar adalah sama dengan kemiringan kurva *trend line*, yaitu tangent sudut kemiringan kurva. Besarnya laju kecepatan kuat tekan mortar akibat pengaruh kadar C3S pada umur 3,7 dan 28 hari adalah 0,947; 1,117 dan 1,439. Lihat tabel 2.

Sedangkan pengaruh C2S berlangsung perlahan dengan pelepasan panas yang lambat, senyawa ini berpengaruh terhadap

proses peningkatan kekuatan yang terjadi dari 14 hari sampai 28 hari.

.Daftar Pustaka.

1. Apriyadi Firdaus, Proses pembuatan semen pada PT Holcim Indonesia, 2007.
2. Julian Bagus Hariawan, Pengaruh perbedaan karakteristik type semen Ordinary Portland Semen (OPC) dan Portland Composite Cement (PCC) terhadap kuat tekan mortar, 2008
3. Paul Nugraha, Teknologi Beton, 2007
4. A.M.Neville & J.J.Brooks, Concrete Technology, 1993
5. L.J.Murdock D Sc, Bahan dan Praktek Beton, 1999.

7. Ucapan terimakasih

Ucapan terimakasih ditujukan kepada Bapak Maniso Budiawan yang telah membantu penulis menyediakan data untuk penulisan ini.