

Perbandingan Efektifitas *Protective Coating*, *Silica Fume*, dan Semen Tipe II Terhadap Pengaruh Klorida dan Sulfat pada Beton

Anto Destianto¹, Yudi Herdiansah¹, dan Agus Sulaeman¹

¹Program Magister Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Achmad Yani, Cimahi, Indonesia

anto176717@gmail.com, yudi.herdiansah@lecture.unjani.ac.id, agussulaeman@lecture.unjani.ac.id

Abstrak

Beton yang berada di lingkungan dengan kadar sulfat serta klorida tinggi dapat mempengaruhi durabilitas beton beton. Beberapa teknologi yang sering digunakan diantaranya: *protective coating*, penambahan *silica fume* pada campuran beton, dan semen tipe II. Oleh sebab itu tujuan penelitian ini adalah untuk mengkomparasi efektifitas *protective coating*, penambahan *silica fume* pada campuran beton dan penggunaan semen tipe II untuk meningkatkan durabilitas beton yang terpapar klorida dan sulfat. Benda uji dibuat dalam 4 variasi yaitu; benda uji semen tipe I tanpa proteksi, benda uji semen tipe I dengan proteksi *coating*, benda uji semen tipe I dengan tambahan *silica fume*, semen tipe II tanpa proteksi. Benda uji direndam pada larutan klorida serta sulfat menggunakan lama perendaman 14 hari, 28 hari, 42 hari, dan 56 hari. Peninjauan pengaruh klorida dan sulfat pada beton dilakukan dengan pengujian kuat tekan, pengujian kadar klorida, pengujian infiltrasi klorida, analisis visual dan pengujian perubahan panjang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *protective coating* memiliki ketahanan terhadap klorida dan sulfat, penambahan *silica fume* pada semen tipe I memberikan ketahanan terhadap klorida namun tidak memberi ketahanan terhadap sulfat, sedangkan penggunaan semen tipe II memberikan ketahanan terhadap sulfat namun tidak memberikan ketahanan terhadap klorida.

Kata kunci: Klorida dan Sulfat, Beton

Abstract

Concrete that is in a surrounding with high sulfate and chloride levels can affect durability of concrete. Numerous technologies that might be often used include: protecting coating, addition of silica fume to concrete mix, and type II cement. Consequently, the intention of this have a look at was to examine effectiveness of shielding coatings, the addition of silica fume to the concrete blend, and the usage of kind II cement to grow the sturdiness of concrete uncovered to chlorides and sulfates. The specimens were made in 4 variations; cement type I specimens without protection, cement type I specimens with coating, cement type I specimens with silica fume, and cement type II without protection. The specimens were immersed in a solution of chloride and sulfate for 14 days, 28 days, 42 days, and 56 days. The study was carried out by testing the compressive strength, chloride content, chloride infiltration, visual analysis, and change of length. The results showed that protective coating had resistance to chloride and sulfate, the addition of silica fume to cement type I provided resistance to chloride but did not to sulfate, while the use of cement type II provided resistance to sulfate but did not provide chloride.

Keywords: Chloride and Sulfate, Concrete

1. Pendahuluan

Perkembangan pembangunan infrastruktur di wilayah pesisir pantai dan lepas pantai di Indonesia mendorong perkembangan teknologi yang dapat mengingatkan durabilitas struktur. Klorida dan sulfat merupakan unsur kimia yang terkandung dalam air laut. Kedua unsur tersebut memiliki sifat yang dapat merusak pada struktur. Ketika klorida masuk ke dalam beton, maka akan menyebabkan tulangan baja akan mengalami korosi namun relatif tidak menyebabkan kerusakan pada material betonnya itu sendiri. Namun menurut Navile, A.M. (2010), menyatakan bahwa kandungan garam di air laut terdiri atas beberapa komponen, yaitu NaCl, MgCl₂, dan MgSO₄ dimana ketika beton dalam masa perawatan kontak dengan air laut maka akan sangat berbahaya karena beton akan mengalami absorpsi.

Selain itu, lingkungan lain yang dapat mempengaruhi kekuatan struktur beton adalah lingkungan yang memiliki kandungan sulfat tinggi. Menurut Arifatunurrillah A., Saputra A. dan Sulistio D. (2019), pada saat serangan sulfat terjadi pada beton, sulfat bereaksi dengan kalsium hidroksida (Ca(OH)₂) pada semen terhidrasi sebagai akibatnya membentuk kalsium sulfat (CaSO₄) dan kalsium aluminat hidrat (4CaO.Al₂O₃.13H₂O) yang kemudian membentuk kalsium sulfoaluminat. Volume kalsium aluminat yang lebih besar dibandingkan volume beton solid membuat beton

mengalami peningkatan volume, sehingga merusak ikatan antar agregat serta semen sebagai bahan pengikat. Hal ini bisa mengurangi kekuatan struktur beton serta memperpendek umur beton.

Oleh sebab itu, untuk menaikkan daya tahan struktur beton terhadap lingkungan yang sarat kandungan klorida dan sulfat maka menurut El Reedy M. A. (2008), terdapat beberapa cara yang dipakai untuk menaikkan durabilitas struktur beton terhadap kondisi-kondisi tersebut

Info Makalah:

Dikirim : 03-13-23;

Revisi 1 : 07-14-23;

Diterima : 11-03-23.

Penulis Korespondensi:

Telp : +62 812-2306-0898

e-mail : yudi.herdiansah@lecture.unjani.ac.id

yaitu salah satunya dengan penambahan *silica fume* pada beton. Selain itu, penggunaan *protective coating* dan semen tipe II pada beton merupakan metode yang digunakan untuk meningkatkan daya tahan struktur beton terhadap lingkungan dengan kondisi tersebut.

Namun, pembahasan mengenai efektivitas ketiga metode untuk meningkatkan daya tahan struktur beton terhadap kondisi lingkungan yang kaya kandungan klorida dan sulfat jarang dilakukan. Oleh karena itu penelitian mengenai efektivitas peningkatan daya tahan struktur beton terhadap klorida dan sulfat dengan *protective coating*, penambahan *silica fume* pada beton dan penggunaan semen tipe II perlu dilakukan, sehingga didapatkan informasi yang lebih dalam mengenai metode mana yang lebih efektif digunakan pada struktur beton.

2. Metode

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode eksperimental yang dilakukan di Laboratorium Teknik Bahan Bangunan, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Achmad Yani. Tahapan penelitian ini terdiri dari: pembuatan benda uji beton, pembuatan larutan NaCl dan Na₂SO₄, melakukan perendaman sampel beton pada larutan garam dan asam sulfat, melakukan pengujian benda uji beton, dan pembuatan kesimpulan.

Dimensi spesimen untuk pengujian kuat tekan beton berbentuk silinder beton berdimensi 15 cm × 30 cm. Pada masing-masing benda uji diaplikasikan campuran semen tipe I tanpa proteksi, campuran semen tipe I dengan proteksi *coating*, campuran semen tipe I dengan tambahan *silica fume*, campuran semen tipe II tanpa proteksi. Benda-benda uji tersebut akan direndam di dalam larutan klorida dan sulfat. Variasi lama perendaman pada larutan klorida dan sulfat adalah 14 hari, 28 hari, 42 hari dan 56 hari. Benda uji akan direndam pada larutan klorida dan sulfat setelah masa perawatan 28 hari.

Kuat tekan beton diuji dengan menggunakan mesin *Universal Testing Machine* (UTM) untuk mengetahui besarnya kuat tekan sesuai SNI 1974-2011. Umur benda uji saat dilakukan pengujian kuat tekan beton adalah 28 hari, 42 hari, 56 hari, 70 hari dan 84 hari. Metode percepatan penetrasi klorida mengacu pada RILEM TC 230-PSC. Metode perendaman sulfat dilakukan mengacu pada ASTM C 1012.

3. Hasil dan Pembahasan

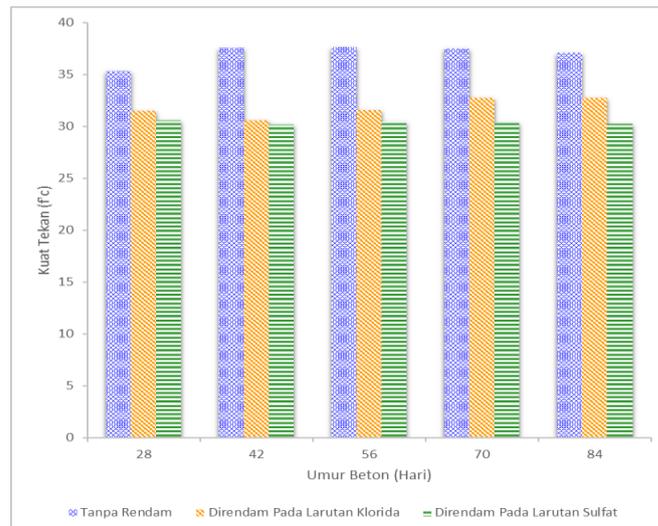
3.1. Analisis Pengaruh Klorida dan Sulfat Terhadap Kuat Tekan Beton Semen Tipe I Tanpa Proteksi

Kuat tekan beton pada benda uji semen tipe II tanpa proteksi diuji untuk mengetahui efektivitas semen tipe II untuk melindungi beton dari pengaruh klorida dan sulfat. Benda uji akan dilakukan perendaman pada larutan klorida dan sulfat dengan variasi lama perendaman 14, 28, 42, dan 56 hari. Kuat tekan beton (f_c) yang direncanakan adalah 25 MPa. Nilai kuat tekan beton setelah ditambah margin mengacu pada ACI 301-16 adalah 33,5 MPa. Ringkasan hasil uji kuat tekan beton ditunjukkan pada Tabel 1.

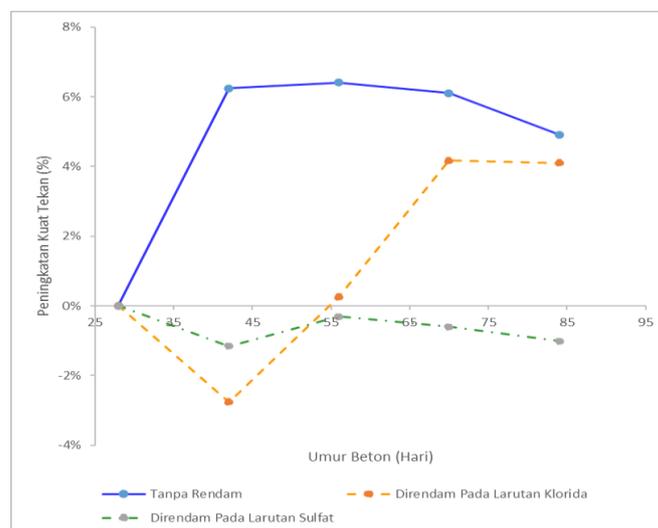
Tabel 1. Hasil Uji Kuat Tekan Semen Tipe I Tanpa Proteksi.

Metode Perendaman	Umur Benda Uji (Hari)	Lama Perendaman (Hari)	Rata - Rata Kuat Tekan (MPa)	Kenaikan Kuat Tekan (%)
Tanpa Rendam	28	0	35,335	0,00%
	42	14	37,540	6,24%
	56	28	37,600	6,41%
	70	42	37,490	6,10%
	84	56	35,335	0,00%
Direndam pada Larutan Klorida	28	0	31,460	0,00%
	42	14	30,590	-2,77%
	56	28	31,540	0,25%
	70	42	32,770	4,16%
	84	56	32,749	4,10%
Direndam pada Larutan Sulfat	28	0	30,545	0,00%
	42	14	30,190	-1,16%
	56	28	30,450	-0,31%
	70	42	30,360	-0,61%
	84	56	30,235	-1,01%

Pada Gambar 1 menunjukkan bahwa kuat tekan benda uji yang direndam pada larutan sulfat lebih rendah dari pada yang direndam dengan larutan klorida dan tanpa perendaman, kuat tekan benda uji yang direndam dengan larutan klorida lebih rendah dibandingkan benda uji yang tidak direndam namun lebih tinggi daripada yang direndam dengan larutan sulfat, kuat tekan benda uji tanpa perendaman lebih tinggi daripada benda uji yang direndam dengan larutan klorida dan sulfat.



Gambar 1. Grafik Kuat Tekan Benda Uji Semen Tipe I Tanpa Proteksi untuk Setiap Variasi Perendaman.



Gambar 2. Grafik Kuat Tekan Benda Uji Semen Tipe I Tanpa Proteksi untuk Setiap Variasi Perendaman.

Pada Gambar 2 menunjukkan bahwa benda uji tanpa perendaman mengalami peningkatan kuat tekan beton sebesar 6,24% di umur 42 hari, 56 hari serta 70 hari peningkatan kuat tekan beton relatif sama dengan benda uji di umur 42 hari sedangkan beton di umur 84 hari terjadi sedikit penurunan sekitar 1%.

Kuat tekan beton benda uji dengan perendaman di larutan klorida menurun sebesar 2,77% di umur 42 hari, meningkat kembali 0,25% di umur 56 hari, meningkat kembali 4,61% di umur 70 hari sedangkan di umur 84 hari kuat tekan beton relatif sama dengan benda uji 70 hari. Kuat tekan benda uji dengan perendaman di larutan sulfat menurun sebesar 1,16% di umur beton 42 hari, menurun kembali 0,31% di umur 56 hari, menurun kembali 0,61% di umur 70 hari dan menurun kembali 1,01% di umur beton 84 hari. Berdasarkan Gambar 4.1 terdapat perbedaan kuat tekan beton di umur 28 hari sebelum dilakukan perendaman. Hal ini merupakan suatu ketidakwajaran pada benda uji, karena seharusnya pada umur benda uji memiliki nilai kuat tekan benda uji yang relatif sama.

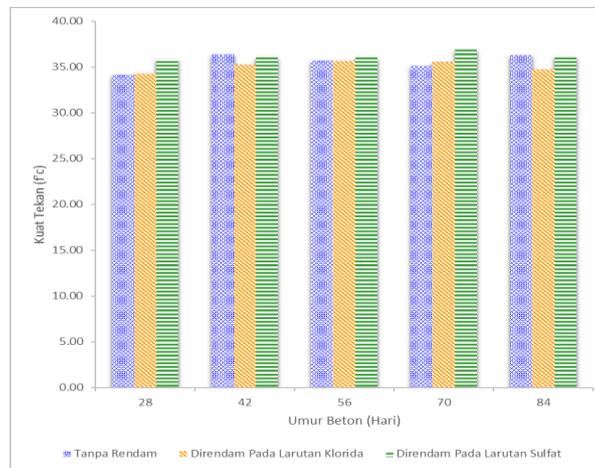
Penyebab terjadinya ketidakwajaran ini terjadi pada proses pembuatan benda uji. Salah satu penyebabnya adalah perbedaan faktor air semen (w/c) yang diaplikasikan. Pada benda uji tanpa perendaman, kuat tekan betonnya lebih tinggi kemungkinan hal ini terjadi diakibatkan oleh jumlah semen pada campuran tersebut lebih banyak dibandingkan benda uji lain.

3.2. Analisis Pengaruh Klorida dan Sulfat Terhadap Kuat Tekan Beton Semen Tipe I dengan Proteksi *Coating*

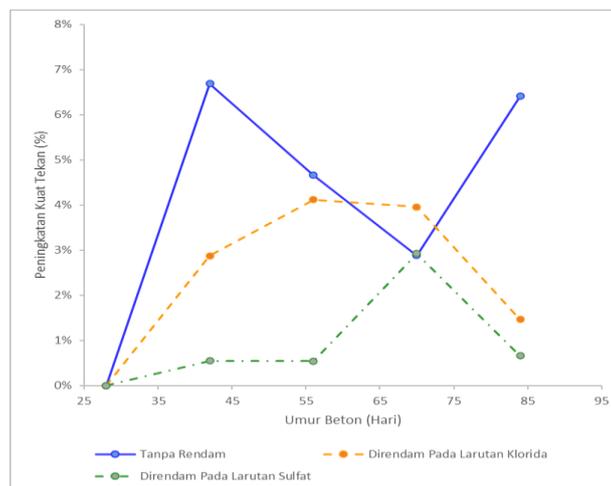
Pengujian kuat tekan beton pada benda uji semen tipe I dengan proteksi *coating* dilakukan untuk mengetahui efektifitas *coating* untuk melindungi beton dari pengaruh klorida dan sulfat. Benda uji akan dilakukan perendaman pada larutan klorida dan sulfat dengan variasi lama perendaman 14, 28, 42, dan 56 hari. Kuat tekan beton (f'c) yang direncanakan adalah 25 MPa. Nilai kuat tekan beton setelah ditambah margin mengacu pada ACI 301-16 adalah 33,5 MPa. Ringkasan hasil uji kuat tekan beton ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Uji Kuat Tekan Benda Uji Semen Tipe I dengan Proteksi *Coating*.

Metode Perendaman	Umur Benda Uji (Hari)	Lama Perendaman (Hari)	Rata - Rata Kuat Tekan (MPa)	Kenaikan Kuat Tekan (%)
Tanpa Rendam	28	0	34,105	0,00%
	42	14	36,385	6,69%
	56	28	35,695	4,66%
	70	42	35,087	2,88%
	84	56	36,291	6,41%
Direndam pada Larutan Klorida	28	0	34,240	0,00%
	42	14	35,225	2,88%
	56	28	35,650	4,12%
	70	42	35,595	3,96%
	84	56	34,741	1,46%
Direndam pada Larutan Sulfat	28	0	35,830	0,00%
	42	14	36,027	0,55%
	56	28	36,025	0,54%
	70	42	36,878	2,92%
	84	56	36,067	0,66%



Gambar 3. Grafik Kuat Tekan Benda Uji Semen Tipe I dengan Proteksi *Coating* untuk Setiap Variasi Perendaman.



Gambar 4. Grafik Peningkatan Kuat Tekan Benda Uji Semen Tipe I dengan Proteksi *Coating* untuk Setiap Variasi Perendaman.

Pada Gambar 3 menunjukkan bahwa kuat tekan benda uji yang direndam pada larutan sulfat, larutan klorida dan tanpa perendaman memiliki kuat tekan yang relatif sama berada di kisaran 34 MPa sampai dengan 36 MPa.

Pada Gambar 4 menunjukkan bahwa kuat tekan beton benda uji tanpa perendaman meningkat sebesar 6,69% di umur 42 hari, di umur 56 hari kuat tekan beton meningkat sebesar 4,66%, di umur 70 hari meningkat sebesar 2,88% dan di umur 84 hari meningkat sebesar 6,41%. Benda uji yang direndam pada larutan klorida kuat tekan betonnya

meningkat sebesar 2,88% di umur 42 hari, di umur 56 hari meningkat sebesar 4,12%, di umur 70 hari meningkat 3,96% dan di umur 84 hari meningkat sebesar 61,46%. Benda uji yang direndam pada larutan sulfat kuat tekan betonnya meningkat sebesar 0,55% di umur beton 42 hari, di umur 56 hari meningkat sebesar 0,54%, di umur beton 70 hari meningkat sebesar 2,92% pada dan di umur beton 84 hari meningkat sebesar 0,66%.

Presentasi kenaikan kuat tekan benda uji semen tipe I dengan proteksi *coating* baik yang direndam pada larutan klorida maupun sulfat masih mengalami kenaikan kuat tekan beton positif walaupun presentasi kenaikan kuat tekan benda uji yang di-*coating* lebih kecil dari benda uji yang tanpa rendam dan direndam dalam larutan klorida.

Presentasi kenaikan kuat tekan beton yang tidak stabil pada benda uji tanpa rendam merupakan suatu hal ketidakwajaran karena tidak sesuai dengan teori yang menyebutkan bahwa kekuatan beton akan meningkat sesuai dengan meningkatnya umur beton dikarenakan proses hidrasi yang terus berlanjut, sehingga pengikat tambahan akan terbentuk antara butiran semen yang akan menyebabkan penguatan sistem (G Nawi Edward, 2008). Ketidakwajaran tersebut terjadi diperkirakan dampak dari jumlah air pada campuran beton yang tidak konsisten sehingga mengakibatkan perbedaan faktor air semen (w/c) yang menyebabkan kuat tekan beton di umur 56 hari serta 70 hari mengalami penurunan.

Berdasarkan Gambar 3 kuat tekan benda uji di umur beton 28 hari memiliki kuat tekan relatif sama yaitu 34,105 MPa untuk benda uji tanpa rendam, 34,240 MPa untuk benda uji direndam di larutan klorida dan 35,83 MPa untuk benda uji direndam di larutan sulfat. Perbedaan nilai kuat tekan dari ketiga benda uji tersebut tidak signifikan sehingga apabila mengacu pada ASTM 178-02 masih masuk dalam kriteria yang disyaratkan.

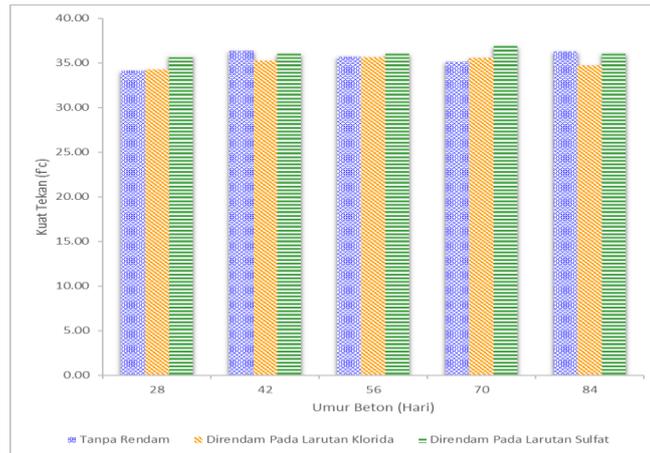
3.3. Analisis Pengaruh Klorida dan Sulfat Terhadap Kuat Tekan Beton Semen Tipe I dengan *Silica Fume*

Pengujian kuat tekan beton pada benda uji semen tipe I dengan *silica fume* dilakukan untuk mengetahui efektivitas penggunaan campuran *silica fume* untuk melindungi beton dari pengaruh klorida dan sulfat. Benda uji akan dilakukan perendaman pada larutan klorida dan sulfat dengan variasi lama perendaman 14, 28, 42, dan 56 hari. Kuat tekan beton (f'c) yang direncanakan adalah 25 MPa. Nilai kuat tekan beton setelah ditambah margin mengacu pada ACI 301-16 adalah 33,5 MPa. Ringkasan hasil uji kuat tekan beton ditunjukkan pada Tabel 3.

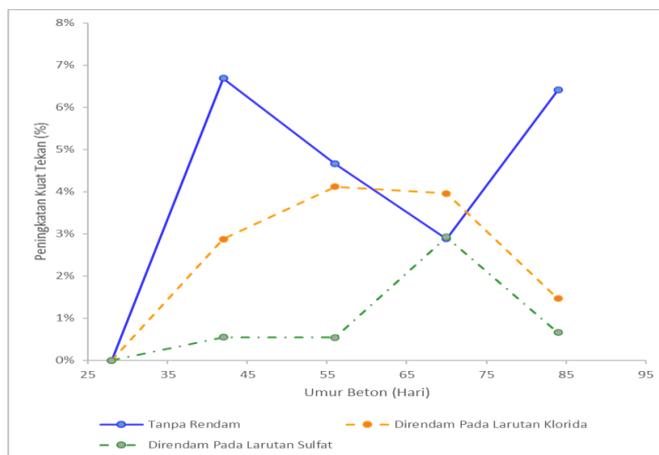
Tabel 3. Hasil Uji Kuat Tekan Benda Uji Semen Tipe I dengan *Silica Fume*.

Metode Perendaman	Umur Benda Uji (Hari)	Lama Perendaman (Hari)	Rata - Rata Kuat Tekan (MPa)	Kenaikan Kuat Tekan (%)
Tanpa Rendam	28	0	32,170	0,00%
	42	14	34,715	7,91%
	56	28	34,320	6,68%
	70	42	33,264	3,40%
	84	56	32,947	2,41%
Direndam pada Larutan Klorida	28	0	32,277	0,00%
	42	14	32,147	-0,40%
	56	28	31,920	-1,11%
	70	42	29,043	-10,02%
	84	56	27,983	-13,30%
Direndam pada Larutan Sulfat	28	0	36,580	0,00%
	42	14	36,223	-0,98%
	56	28	35,703	-2,40%
	70	42	28,159	-23,02%
	84	56	26,183	-28,42%

Pada Gambar 5 menunjukkan bahwa kuat tekan benda uji tanpa rendam dan yang direndam pada larutan klorida di umur 28 hari relatif sama yaitu 32,170 MPa untuk benda uji tanpa rendam dan 32,277 MPa untuk benda uji direndam pada larutan klorida sedangkan benda uji direndam di larutan sulfat memiliki kuat tekan beton lebih tinggi yaitu 36,580 MPa. Hal ini merupakan suatu hal ketidakwajaran karena seharusnya di umur 28 hari memiliki kuat tekan yang relatif sama. Penyebabnya adalah perbedaan faktor air semen (w/c) yang diaplikasikan ketika membuat benda uji. Pada benda uji yang direndam di larutan sulfat kuat tekan betonnya lebih tinggi, hal ini diakibatkan oleh jumlah semen pada campuran lebih banyak dari benda uji lain.



Gambar 5. Grafik Kuat Tekan Benda Uji Semen Tipe I dengan Proteksi *Coating* untuk Setiap Variasi Perendaman.



Gambar 6. Grafik Peningkatan Kuat Tekan Benda Uji Semen Tipe I dengan Proteksi *Coating* untuk Setiap Variasi Perendaman.

Pada Gambar 6 menunjukkan bahwa kuat tekan beton benda uji tanpa perendaman meningkat sebesar 7,91% di umur beton 42 hari, di umur 56 hari meningkat sebesar 6,68%, di umur beton 70 hari meningkat sebesar 3,40% dan di umur 84 hari kuat tekan beton meningkat sebesar 2,41%

Benda uji yang diredam di larutan klorida kuat tekan betonnya menurun sebesar 0,4% di umur beton 42 hari, di umur 56 menurun sebesar 1,11%, di umur 70 hari menurun sebesar 10,02% dan di umur beton 84 hari kuat tekan beton menurun sebesar 13,30%. Benda uji yang diredam di larutan sulfat kuat tekan beton menurun sebesar 0,98% di umur beton 42 hari, di umur 56 hari menurun sebesar 2,4%, di umur 70 hari menurun sebesar 23,02% dan di umur beton 84 hari menurun sebesar 28,42%.

Presentasi kenaikan kuat tekan benda uji semen tipe I dengan *silica fume* tanpa rendam mengalami kenaikan kuat tekan beton namun benda uji yang diredam di larutan klorida dan sulfat mengalami penurunan. Penurunan kuat tekan beton yang diredam di larutan sulfat lebih besar dibandingkan dengan yang diredam pada larutan klorida.

3.4. Analisis Pengaruh Klorida dan Sulfat Terhadap Kuat Tekan Beton Semen Tipe II tanpa Proteksi

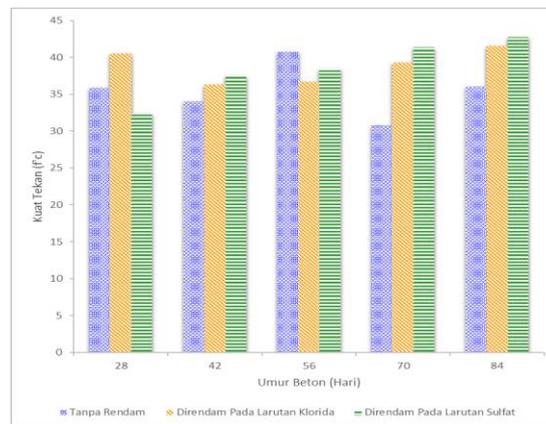
Pengujian kuat tekan beton pada benda uji semen tipe II tanpa proteksi dilakukan untuk mengetahui efektifitas semen tipe II untuk melindungi beton dari pengaruh klorida dan sulfat. Benda uji akan dilakukan perendaman pada larutan klorida dan sulfat dengan variasi lama perendaman 14, 28, 42, dan 56 hari. Kuat tekan beton ($f'c$) yang direncanakan adalah 25 MPa. Nilai kuat tekan beton setelah ditambah margin mengacu pada ACI 301-16 adalah 33,5 MPa. Ringkasan hasil uji kuat tekan beton ditunjukkan pada Tabel 4.

Pada Gambar 7 menunjukkan bahwa kuat tekan benda uji tanpa rendam, benda uji yang akan diredam di larutan klorida dan benda uji yang akan diredam di larutan sulfat memiliki kuat tekan yang berbeda-beda pada umur 28 hari yaitu 35,845 MPa untuk benda uji tanpa rendam, 40,50 MPa untuk benda uji yang diredam di larutan klorida serta 32,40 MPa untuk benda uji yang diredam di larutan sulfat. Hal tersebut merupakan suatu hal ketidakwajaran karena seharusnya di umur 28 hari memiliki hasil yang relatif sama. Penyebabnya adalah perbedaan faktor air semen (w/c) yang diaplikasikan pada saat pembuatan benda uji. Kemungkinan penyebabnya adalah kondisi sampel semen yang

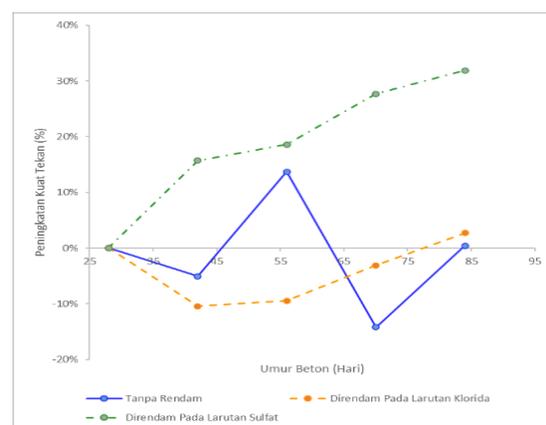
kurang bagus karena ada semen yang sudah menggumpal dimana semen yang menggumpal akan sulit bereaksi dengan air sehingga kemampuan semen untuk mengikat agregat tidak sempurna dan kuat tekan betonnya berbeda-beda pada umur 28 hari walaupun dengan job *mixed design* sama.

Tabel 4. Hasil Uji Kuat Tekan Benda Uji Semen Tipe II Tanpa Proteksi.

Metode Perendaman	Umur Benda Uji (Hari)	Lama Perendaman (Hari)	Rata - Rata Kuat Tekan (MPa)	Kenaikan Kuat Tekan (%)
Tanpa Rendam	28	0	35,845	0,00%
	42	14	34,030	-5,06%
	56	28	40,750	13,68%
Tanpa Rendam	56	28	40,750	13,68%
	70	42	30,750	-14,21%
Direndam pada Larutan Klorida	28	0	40,500	0,00%
	42	14	36,280	-10,42%
	56	28	36,670	-9,46%
	70	42	39,240	-3,11%
	84	56	41,597	2,71%
Direndam pada Larutan Sulfat	28	0	32,400	0,00%
	42	14	37,490	15,71%
	56	28	38,430	18,61%
	70	42	41,366	27,67%
	84	56	42,722	31,86%



Gambar 7 Grafik Kuat Tekan Benda Uji Semen Tipe II Tanpa Proteksi untuk Setiap Variasi Perendaman.



Gambar 8. Grafik Peningkatan Kuat Tekan Benda Uji Semen Tipe II Tanpa Proteksi untuk Setiap Variasi Perendaman.

Pada Gambar 8 menunjukkan bahwa kuat tekan beton benda uji tanpa perendaman menurun sebesar 5,06% di umur beton 42 hari, di umur 56 hari kuat tekan beton meningkat sebesar 13,68%, di umur 70 hari menurun sebesar 14,21% di umur beton 84 hari menurun sebesar 0,42%. Kuat tekan beton benda uji yang direndam pada larutan klorida menurun sebesar 10,42% di umur beton 42 hari, di umur beton 56 hari kuat tekan beton menurun sebesar 9,46%, di umur 70 hari menurun sebesar 3,11% dan di umur 84 hari menurun sebesar 2,71%. Kuat tekan beton benda uji yang

direndam pada larutan sulfat menurun sebesar 15,71% di umur beton 42 hari, di umur beton 56 hari kuat tekan beton meningkat sebesar 18,61%, di umur 70 hari meningkat sebesar 27,67% dan di umur 84 hari meningkat sebesar 31,86%.

Karakteristik peningkatan kuat tekan beton pada benda uji tanpa rendam, benda uji yang akan direndam dengan larutan sulfat dan benda uji yang akan direndam dengan larutan sulfat tidak sesuai dengan penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya. Menurut Ady P. W. (2011) bahwa pengaruh sulfat pada beton mengakibatkan penurunan kuat tekan beton yang signifikan dibandingkan dengan beton yang direndam pada air laut, sedangkan pada hasil pengujian kuat tekan beton benda uji semen tipe II tanpa proteksi yang direndam pada larutan sulfat memiliki tren meningkat. Hal ini merupakan suatu ketidakwajaran pada beton yang direndam dengan larutan sulfat karena pengaruh sulfat pada beton akan menghasilkan magnesium silikat hidrat yang tidak bersifat mengikat sehingga menyebabkan turunnya kekuatan tekan beton. Menurut Aryui E., S. Moersidik S., Hartono M. D., Widnarko S. (1994) bahwa pengaruh klorida pada beton mengakibatkan penurunan kuat tekan beton yang disebabkan oleh proses hidrasi senyawa utama semen tidak sempurna yang mengakibatkan tidak terjadi ikatan yang kuat antara material-material pembentuk beton. Pada hasil uji kuat tekan beton pada benda uji semen tipe II tanpa proteksi yang direndam di larutan klorida memiliki tren menurun pada perendaman 14, 28, dan 42 hari. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian sebelumnya, namun pada hari ke 84 terjadi ketidakwajaran karena kuat tekan beton meningkat walaupun sudah direndam dalam larutan klorida. Menurut G. Nawi Edward (2008) bahwa kekuatan beton akan meningkat sesuai dengan meningkatnya umur beton dikarenakan proses hidrasi yang terus berlanjut, sehingga pengikat tambahan akan terbentuk antara butiran semen yang akan menyebabkan penguatan sistem, namun hasil uji kuat tekan beton tanpa rendam menunjukkan hasil yang naik turun. Hal ini merupakan suatu ketidakwajaran. Kemungkinan hal tersebut terjadi karena kondisi sampel semen yang kurang bagus dimana banyak bagian semen yang menggumpal sehingga sulit bereaksi dengan air dan kemampuan semen untuk mengikat agregat tidak sempurna serta menghasilkan kuat tekan beton berbeda-beda.

Kesimpulan

Dari hasil penelitian mengenai perbandingan efektivitas *protective coating*, *silica fume*, dan semen tipe II terhadap pengaruh klorida dan sulfat pada beton, di dapat kesimpulan sebagai berikut:

1. Benda uji semen tipe I dengan *protective coating*
Kuat tekan beton pada benda uji semen tipe I dengan *protective coating* setelah direndam di larutan sulfat dan klorida tidak menurun. Kuat tekan beton tetap meningkat walaupun sudah direndam di dalam larutan klorida dan sulfat.
2. Benda uji semen tipe I dengan *Silica fume*
Kuat tekan beton pada benda uji semen tipe I dengan *silica fume* setelah direndam di dalam larutan sulfat dan klorida mengalami penurunan terutama pada benda uji yang direndam pada larutan sulfat.
3. Benda uji semen tipe II tanpa proteksi
Kuat tekan benda uji semen tipe II tanpa proteksi menunjukkan hasil yang tidak konsisten dan tidak relevan dengan penelitian – penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Hal ini disebabkan oleh kondisi sampel semen yang tidak baik dimana kondisi semen telah menggumpal sehingga menyebabkan rasio air semen tidak konsisten.

Ucapan Terima kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Jenderal Achmad Yani yang telah mendanai penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada PT. Adhi Persada Beton, PT. Semen Indonesia, PT. Sika Indonesia yang telah membantu dan mendukung atas terlaksananya penelitian ini. Tidak lupa pula, penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam proses penelitian dan pembuatan artikel ilmiah ini.

Daftar Pustaka

- ACI 301-16. (2016). *Specifications for Structural Concrete*, Farmington Hills: American Concrete Institute
- ACI 234-06. (2006). *Guide for the Use of Silica Fume in Concrete*, Farmington Hills: American Concrete Institute
- Ady P W., 2011. Pengaruh Pemakaian Semen Portland Tipe II Terhadap Ketahanan Sulfat Pada *Self Compacting Concrete* (SCC) [Skripsi]. Depok: Universitas Indonesia, Program Studi Teknik Sipil.
- ASTM C-1012-04. (2004), *Standard Test Methods for Length Change of Hydraulic-Cement Mortars Exposed to a Sulfate Solution*. (TT): American Society for Testing and Materials.
- ASTM C-114-07. (2007), *Standard Test Methods for Chemical Analysis of Hydraulic Cement*. (TT): American Society for Testing and Materials.
- ASTM E-178-02. (2002), *Standard Test Methods for Dealing With Outlying Observations*. (TT): American Society for Testing and Materials.
- Ariyuni W., Moersidik S. S., Hartono D. M., Widanarko S., 1994, "Pengaruh Ion Klorida (Cl^-) dan Ion Sulfat (SO_4^{2-}) pada Kekuatan Tekon Beton Mutu Sedang", Laporan Penelitian, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Indonesia, Depok.

- Arifatunurrillah A., Saputra A., Sulisty D. (2019), Pengaruh Air Laut Pada Masa Perendaman Terhadap Infiltrasi Ion Klorida Pada Beton Dengan Menggunakan Semen Portland Tipe V. *Jurnal Riset Rekayasa Sipil Universitas Sebelas Maret*. 3 (1): 1-6.
- SNI 1974 - 2011 (2011). *Cara Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder*. Jakarta: Badan Standar Nasional.
- SNI 2847 - 2019 (2019). *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: Badan Standar Nasional.
- SNI 7565 - 2012. (2012). *Tata Cara Pemilihan Campuran Untuk Beton Normal, Beton Berat, dan Beton Massa*. Jakarta: Badan Standar Nasional
- El-Reedy, Mohammed A. (2008), *Assesment and Repair of Corrosion*. New York: CRC Press.
- G Nawi Edward (2008), *Reinforced Concrete, A Fundamental Approach*. New Jersey: Prentice Hall.
- Navile A. M. (2010), *Concrete Technology*. London: Pearson Education Limited.
- RILEM TC 230-PSC. (2015), *Performance-Based Specifications and Control of Concrete Durability*. (TT): Springer.