

Pengaruh Penggunaan Semen PCC terhadap Karakteristik Beton di Lingkungan Asam Sulfat

Rita Irmawaty, Herman Parung, Mukhlis Hamid

Departemen Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Jl. Poros Malino KM. 06 Bontomarannu, Gowa

Email: Rita_irmaway@yahoo.co.id, parungherman@yahoo.co.id, muchehamid@gmail.com

ABSTRAK

Beton adalah material komposit yang umum digunakan dalam berbagai jenis pekerjaan konstruksi. Material beton diharapkan mampu bertahan pada lingkungan tertentu, tanpa mengalami kerusakan selama masa layan. Penurunan kualitas beton dapat disebabkan oleh factor lingkungan seperti pengaruh cuaca, perubahan temperatur yang drastis, abrasi, aksi elektrolisis, serangan oleh cairan atau gas alami dan asap dari industri. Sedangkan, penggunaan beton pada lingkungan agresif sangat berpengaruh terhadap keawetan dan kuat tekan beton. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi karakteristik beton N20 dan N30 yang menggunakan semen PCC pada lingkungan asam sulfat. Benda uji berbentuk kubus 5 x 5 x 5 cm direndam dalam larutan asam sulfat dengan konsentrasi 2% dan 5%. Kemudian dilakukan uji kehilangan berat, kuat tekan dan ketahanan terhadap abrasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa beton N20 yang direndam dalam larutan asam sulfat mengalami penurunan kuat tekan sebesar 99.065% setelah direndam selama 91 hari, semua benda uji mengalami kehilangan berat dan laju abrasi meningkat. Dari pengamatan visual, beton N30 mengalami degradasi lebih besar dibandingkan N20 ketika direndam dalam larutan asam sulfat dengan konsentrasi yang sama. Oleh karena itu dilakukan analisis komposisi kimia semen PCC dengan XRD, hasil menunjukkan kandungan C₃A (Trikalsium Aluminat/ *Grossite*) sebesar 52.6%. Semakin besar kandungan C₃A semen dapat meningkatkan pertumbuhan *etteringite* pada beton sehingga menimbulkan kerusakan yang lebih besar.

Kata kunci: abrasi, kuat tekan, lingkungan asam sulfat.

1. PENDAHULUAN

Beton merupakan suatu bahan komposit (campuran) dari beberapa material, yang bahan utamanya terdiri dari campuran semen, agregat halus, agregat kasar, air dan atau tanpa bahan tambah lain dengan perbandingan tertentu. Karena beton merupakan komposit, maka kualitas beton sangat tergantung dari kualitas masing-masing material pembentuk (Naville. A.M, 2005).

Durabilitas beton adalah ketahanan struktur beton dalam menghadapi kondisi dimana beton direncanakan tanpa mengalami kerusakan (*deteriorate*) selama masa layan struktur. Menurunnya durabilitas beton dapat disebabkan oleh factor internal berupa reaksi alkali-agregat, perubahan volume akibat perbedaan sifat termal dari agregat terhadap pasta, dan permeabilitas. Faktor luar seperti pengaruh fisik, kimia, maupun mekanis merupakan faktor yang mempengaruhi daya tahan beton (Paul Nugraha & Antony, 2007).

Ketahanan beton di lingkungan asam dipengaruhi oleh karakteristik pori beton, kemampuan matriks semen untuk menetralkan asam dan hasil reaksi (produk) korosi akibat asam, jenis dan komposisi semen, nilai pH, tipe agregat dan penggunaan bahan tambah dalam campuran semen (Fernando, 2010). Produk hidrasi Ca(OH)₂ beton lebih rentan terhadap asam karena bersifat alkalis, sehingga meningkatkan penggunaan semen.

Beton yang telah terpapar oleh lingkungan sulfat akan mengalami penurunan kualitas dan pengurangan volume beton. Lingkungan asam merusak beton dengan cara mengurai Ca(OH)₂ pada

pasta semen, menghancurkan struktur kristal, dan menyisakan residu tidak bermanfaat pada kekuatan beton, lalu menimbulkan penurunan kuat tekan beton sehingga masa layan struktur beton dapat berkurang (Skalny, 2002 dan Cizer, 2011).

Untuk mengatasi pembuangan kontinyu dari material limbah, penelitian ini menggunakan *Portland Composite Cement* (PCC) yang mengandung bahan anorganik 6-35% seperti *fly ash*, *blast furnace slag*, dan lain-lain. *Fly ash* merupakan limbah industri yang dihasilkan di pembangkit listrik termal. Beberapa pabrik semen memproduksi *blended cement* yang mengandung *fly ash* untuk mengurangi emisi CO₂ pada proses produksi klinker semen, mengurangi konsumsi dari bahan baku seperti batu kapur dan tanah liat, serta berkontribusi menciptakan lingkungan yang bersih melalui penggunaan bahan limbah daur ulang seperti *fly ash*. Penggabungan *fly ash* pada *blended cement* seperti PCC memberikan manfaat ekologi dan hemat bahan (Neville, 1995, S. Antiohos and S. Tsimas, 2005). Saat ini semen tipe PCC yang banyak diperdagangkan dan mudah diperoleh.

Dengan latar belakang tersebut, dilakukan kajian yang mendalam terhadap karakteristik beton N20 dan N30 yang menggunakan semen PCC pada lingkungan asam sulfat. Kajian dilakukan terhadap kehilangan berat, nilai kuat tekan beton dan ketahanan terhadap abrasi setelah direndam dalam larutan asam sulfat dengan konsentrasi 2% dan 5% hingga umur 91 hari.

2. PROGRAM EKSPERIMENTAL

Studi eksperimental dilakukan untuk mengevaluasi kehilangan berat, kuat tekan dan ketahanan terhadap abrasi setelah direndam dalam larutan sulfat 2% dan 5% hingga umur pengujian.

Material

Portland Composite Cement (PCC) yang memenuhi SNI 15-7064-2004 produksi semen Indonesia dan tersedia dipasaran digunakan sebagai bahan pengikat. Dilakukan pengujian XRD (X-Ray Diffraction) untuk mengetahui komposisi kimia semen.

Batu pecah dengan ukuran maksimum agregat 20 mm dan modulus kekasaran 6.79, serta pasir sungai dengan modulus kehalusan 2.6 memenuhi standar SNI 03-1968-1990 untuk agregat kasar dan halus. Agregat berasal dari sungai Jeneberang, Bili-bili. Tabel 1 menggambarkan sifat fisik agregat.

Tabel 1. Karakteristik fisik agregat

	Karakteristik	Batu pecah	Pasir sungai
Berat jenis	Kering oven	2.69	2.42
	Kering permukaan (SSD)	2.71	2.46
Penyerapan air, %		0.45	1.63

*Data pengujian

Deskripsi benda uji

Benda uji berbentuk silinder dengan diameter 100 mm dan tinggi 200 mm sebagai benda uji kontrol untuk kuat tekan. Pengujian kuat tekan benda uji control dilakukan pada umur 7, 14 dan 28 hari, menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM) kapasitas 1000 KN. Selain bentuk silinder, digunakan juga benda uji kubus dengan dimensi 50 x 50 x 50 mm. Kubus beton merupakan hasil pemotongan dari balok beton berukuran 50 x 100 x 400 mm. Pemotongan balok beton dilakukan setelah beton di-*curing* 28 hari. Tabel 2 memperlihatkan composisi campuran beton yang dihitung dengan metode ACI 211.1-91. Jumlah benda uji untuk setiap jenis pengujian disajikan pada Tabel 3 dan 4. Benda uji di *curing* dalam air tawar selama 28 hari, kemudian dilanjutkan dengan perendaman larutan sulfat 2% dan 5% hingga umur pengujian..

Tabel 2. *Mix design* beton (kg/m³)

Material	N20	N30
Air	172	154
Semen	365	425
Pasir	963	710
Batu pecah	829	1051
Superplasticizer	-	3.4

Tabel 3. Benda uji kuat tekan

Variasi Mutu Beton	Curing	Jumlah Benda Uji (buah)			Bentuk Benda Uji
		7 Hari	14 Hari	28 Hari	
N20	Air Tawar	3	3	3	Silinder 100 x 200 mm
N30		3	3	3	
N20		-	-	5	Kubus 50 x 50 x 50 mm
N30		-	-	5	

Tabel 4. Benda uji kehilangan berat

Variasi Mutu Beton	Curing	Jumlah Benda Uji dalam rendaman asam sulfat (buah)		Bentuk Benda Uji
		7 Hari	28 Hari	
N20	H ₂ SO ₄ 2%	15		Kubus 50 x 50 x 50 mm
	H ₂ SO ₄ 5%	15		
N30	H ₂ SO ₄ 2%	15		
	H ₂ SO ₄ 5%	15		

Pengujian kehilangan berat

Ketahanan terhadap asam sulfat dilakukan dengan merendam kubus beton 5x5x5 cm (setelah *curing* pada air tawar selama 28 hari) ke dalam larutan asam sulfat sampai umur 91 hari. Larutan asam sulfat yang digunakan memiliki konsentrasi 2% dan 5% H₂SO₄ sesuai dengan ASTM C267-01 (*Standard Test Methods for Chemical Resistance of Mortars, Grouts, and Monolithic Surfacing and Polymer Concretes*). Untuk menjaga keasaman larutan dilakukan pergantian setiap 7 hari sekali. Kehilangan berat beton sesudah direndam dalam larutan asam sulfat (H₂SO₄) mengindikasikan ketahanan terhadap sulfat. Pengukuran berat dilakukan setiap 7 hari sampai umur 91 hari menggunakan timbangan dengan ketelitian 0,01 gr.

Pengujian kuat tekan

Menurut SNI 1974-2011 pengujian kuat tekan adalah pemberian beban aksial terhadap benda uji beton pada laju pembebanan yang berada dalam batas yang ditentukan hingga terjadi kehancuran. Kuat tekan benda uji dihitung dengan persamaan berikut ini.

$$f'c = \frac{P}{A}$$

(1)

Dengan $f'c$ = Kuat tekan beton, P = Gaya tekan aksial, A = Luas penampang melintang benda uji.

Pengujian ketahanan terhadap abrasi

Pengujian ketahanan terhadap abrasi berdasarkan spesifikasi EN 1097-2:2007 menggunakan 8 buah kubus beton berdimensi 5x5x5 cm diputar bersama 8 buah bola baja dengan mesin abrasi *Los Angeles*. Mesin diputar sebanyak 1000 putaran dimana setiap 100 putaran dilakukan penimbangan terhadap perubahan berat benda uji. Untuk menghitung persentase kehilangan berat dari beton hasil pengujian abrasi digunakan persamaan berikut.

$$\text{Keausan} = \frac{w_1 - w_0}{w_0} \times 100\% \quad (2)$$

Dengan w_0 = berat benda uji semula (gr), w_1 = berat benda uji setelah pengujian (gr)

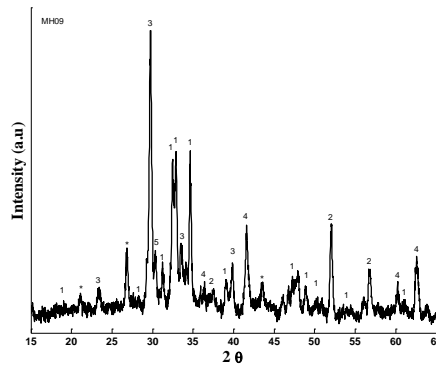
3. HASIL DAN DISKUSI

Komposisi kimia semen PCC

Komposisi kimia semen PCC ditetapkan melalui pengujian XRD (*X-Ray Diffraction*). Hasil analisis dengan XRD menunjukkan kandungan C_3A (Trioksalum Aluminat/ *Grossite*) sebesar 52.6 %, seperti tersaji pada Tabel 5 dan Gambar 1. Semakin besar kandungan C_3A maka pertumbuhan *ettringite* pada beton meningkat sehingga menimbulkan kerusakan yang lebih besar.

Tabel 5. Komposisi kimia semen yang dianalisis dengan XRD

Komposisi (%)	Nama Senyawa	Notasi Kimia
52.6	<i>Grossite</i>	$Ca_3 Al_2 O_6$
28.3	<i>Corundum</i>	$Al_2 O_3$
9.6	<i>Cristobalite</i>	$O_2 Si$
6.7	<i>Periclase</i>	$Mg O$
2.7	<i>Maghemite</i>	$Fe_2 O_3$



Gambar 1. Hasil Uji XRD

Kuat tekan benda uji kontrol

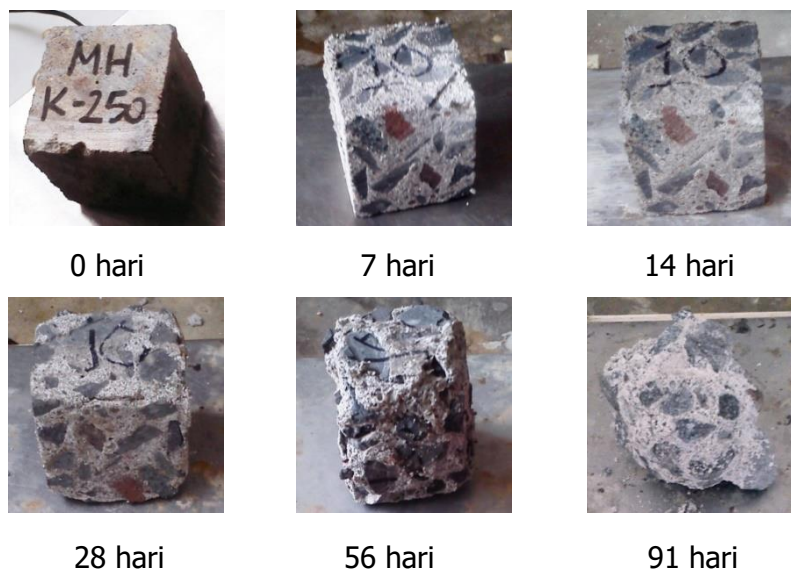
Pengujian ini menggunakan 18 buah sampel benda uji silinder beton 10 cm x 20 cm dengan umur pengujian 7, 14, 28 hari untuk beton N20 dan N30. Tabel 6 menunjukkan hasil kuat tekan silinder beton sesuai dengan target.

Tabel 6. Kuat tekan silinder beton

Umur (hari)	N20 (MPa)	f'c (MPa)
7	12.133	19.735
	12.023	18.665
	14.230	18.472
14	18.330	27.453
	20.170	26.784
	20.028	26.856
28	20.700	29.231
	20.991	29.358
	21.022	29.143

Kondisi visual benda uji

Secara visual kubus beton N20 dan N30 memperlihatkan perubahan bentuk yang signifikan akibat serangan asam sulfat. Perubahan bentuk sangat dipengaruhi oleh konsentrasi keasaman larutan. Gambar 2 dan 3 menunjukkan perubahan bentuk pada benda uji N20 yang direndam larutan 2% dan 5% asam sulfat (H_2SO_4) pada umur 0 hari (sebelum perendaman dalam larutan asam sulfat), 7, 14, 28, 56, dan 91 hari. Kerusakan terjadi lebih sedikit pada larutan dengan konsentrasi yang lebih rendah. Beton N20 yang direndam pada larutan 2% H_2SO_4 dapat bertahan hingga 91 hari dibanding dengan beton N20 pada larutan 5% H_2SO_4 yang hanya bertahan sampai 42 hari.



Gambar 2. Kondisi visual beton N20 setelah direndam asam sulfat (H_2SO_4) 2%



Gambar 3. Kondisi visual beton N20 setelah direndam asam sulfat (H_2SO_4) 5%

Gambar 4 dan 5 menunjukkan kerusakan pada beton N30 akibat serangan asam sulfat (H_2SO_4) dengan konsentrasi 2% dan 5%. Semakin tinggi konsentrasi larutan, semakin besar kerusakan yang terjadi. Pada konsentrasi larutan 2% H_2SO_4 , beton N30 dapat bertahan hingga 77 hari, sedangkan pada konsentrasi 5% H_2SO_4 beton hanya mampu bertahan sampai 35 hari. Hasil pengamatan visual juga menunjukkan tingkat kerusakan beton yang lebih besar pada beton dengan kandungan semen yang lebih banyak pada konsentrasi larutan yang sama.



Gambar 4. Kondisi visual beton N30 setelah direndam asam sulfat (H_2SO_4) 2%



Gambar 5. Kondisi visual beton N30 setelah direndam asam sulfat (H₂SO₄) 5%

Kehilangan berat

Data penurunan berat diperoleh dari rata-rata 15 benda uji pada setiap variasi rendaman seperti tersaji pada Tabel 7 dan 8. Pengujian dilakukan setiap 7 hari sampai umur 91 hari. Benda uji beton N20 yang direndam dalam larutan 2% H₂SO₄ mengalami penambahan berat sebesar 1,58 % setelah direndam 7 hari, namun ketika mencapai umur 14 hari, beton mulai mengalami kerusakan akibat reaksi asam sulfat hingga umur 91 hari. Total kehilangan berat sebesar 61,19% pada beton N20.

Untuk benda uji beton N30 yang direndam dalam larutan 2% H₂SO₄ mulai mengalami kerusakan akibat reaksi asam sulfat pada umur 7 hari dan terjadi penurunan berat sebesar 0,08 %. Untuk N30 pengukuran berat hanya sampai umur 77 hari karena benda uji dianggap telah mencapai kondisi kerusakan maksimal dengan total kehilangan berat sebesar 78,16 % dari berat awal.

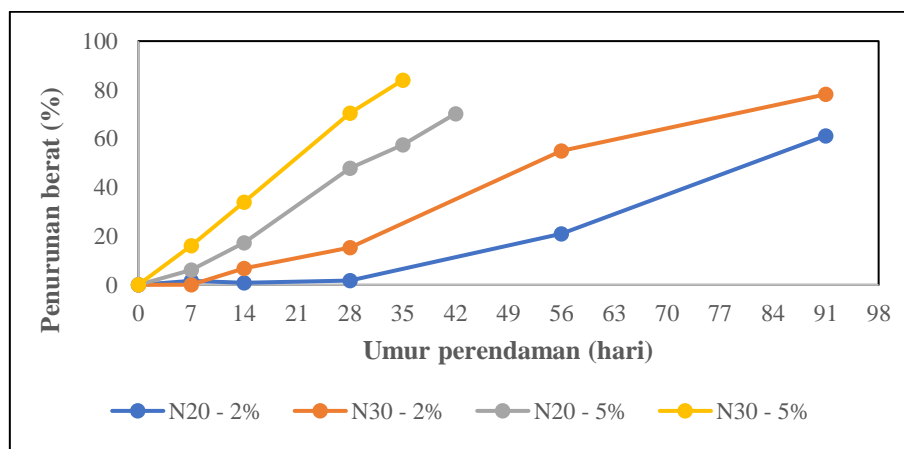
Tabel 7. Hasil pengujian penurunan berat akibat larutan 2% H₂SO₄ (gr)

Benda Uji	Umur Rendaman (Hari)					
	0	7	14	28	56	91
N20	265.67	269.87	268.05	261.03	209.99	103.09
N30	263.47	263.27	245.72	223.27	118.51	57.53*

*Umur rendaman 77 Hari

Tabel 8. Hasil pengujian penurunan berat akibat larutan 5% H₂SO₄ (gr)

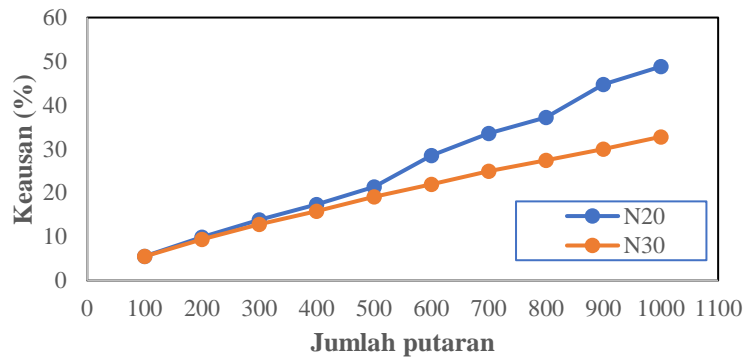
Benda Uji	Umur Rendaman (Hari)					
	0	7	14	28	35	42
N20	264.07	247.78	218.53	137.77	112.23	78.58
N30	265.67	222.94	175.33	78.39	42.55	-



Gambar 6. Penurunan berat (%) beton setelah direndam dalam larutan 2% dan 5% asam sulfat (H₂SO₄)

Ketahanan terhadap abrasi

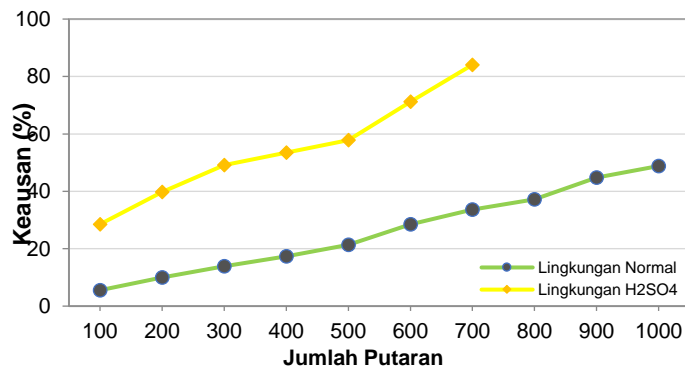
Gambar 7 menunjukkan nilai keausan kubus beton N20 dan N30 pada lingkungan normal (sebelum direndam dalam larutan asam sulfat). Perbandingan keausan kubus beton N20 sebelum dan setelah direndam dalam larutan 2% H₂SO₄ diperlihatkan pada gambar 8. Pengujian dihentikan pada putaran ke 700 karena hanya tersisa 4 kubus beton dari total 8 kubus beton. Terlihat pada gambar 8 persentase keausan beton meningkat pada lingkungan asam sulfat. Besarnya nilai keausan pada beton menandakan penurunan kualitas dan tingkat ketahanan beton terhadap lingkungan asam sulfat yang rendah.



Gambar 7. Keausan (%) kubus beton N20 dan N30 sebelum direndam dalam larutan asam sulfat (H₂SO₄)

Kuat tekan setelah direndam larutan asam sulfat

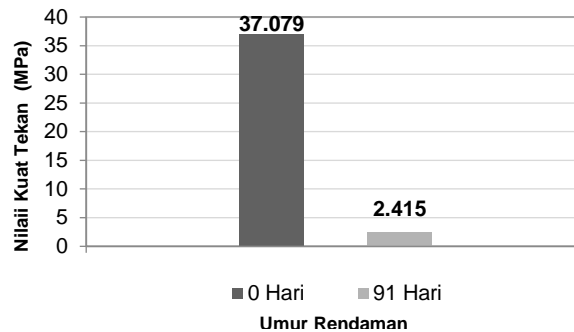
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui perubahan nilai kuat tekan beton sebelum dan sesudah bereaksi dengan asam sulfat selama masa perendaman. Benda uji yang digunakan adalah kubus beton N20 berdimensi 5x5x5 cm umur 28 hari curing normal dan setelah direndam dalam larutan 2% H₂SO₄ selama 91 hari. Nilai kuat tekan merupakan nilai rata-rata dari 5 benda uji.



Gambar 8. Keausan (%) kubus beton N20 sebelum dan setelah direndam dalam larutan 2% H₂SO₄

Gambar 9 menunjukkan penurunan kekuatan pada kubus beton setelah bereaksi terhadap larutan 2% H₂SO₄. Kuat tekan kubus beton N20 memiliki kuat tekan sebesar 37.079 MPa sebelum direndam dalam larutan asam sulfat dan mengalami penurunan sebesar 99.065% setelah direndam selama 91 hari.

Menurunnya kuat tekan pada kubus beton dipengaruhi oleh perubahan dimensi dan bentuk benda uji setelah direndam larutan asam sulfat, yang merupakan salah satu faktor yang menentukan besarnya nilai kuat tekan pada beton. Perubahan bentuk terjadi karena adanya reaksi asam sulfat terhadap beton. Serangan sulfat mengakibatkan terjadinya pembengkakan volume sehingga terjadi keretakan dan kerusakan yang membuat semen terlepas dan mengurangi ketahanan serta kualitas dari beton.



Gambar 9. Grafik nilai kuat tekan sebelum dan sesudah perendaman larutan 2% H₂SO₄ pada beton K-250

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan diskusi, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- Kuat tekan kubus beton N20 mengalami penurunan kuat tekan rata-rata sebesar 99.065% setelah direndam dalam larutan 2% asam sulfat (H₂SO₄) selama 91 hari, sedangkan nilai keausan meningkat yang menunjukkan penurunan kualitas dan ketahanan terhadap abrasi.
- Kubus beton N20 yang direndam dalam larutan 2% H₂SO₄ selama 91 hari mengalami kehilangan berat rata-rata 61.19% dan sebesar 70,2% pada larutan 5% H₂SO₄ dengan umur uji selama 42 hari. Sedangkan untuk kubus beton N30 yang direndam dalam larutan 2% H₂SO₄ selama 77 hari mengalami kehilangan berat rata-rata sebesar 78,16 % dan 84,0% pada larutan 5% H₂SO₄ dengan umur uji selama 35 hari.
- Dari visual kubus beton yang telah direndam pada larutan asam sulfat (H₂SO₄) dengan konsentrasi 2% dan 5%, mengalami kerusakan yang lebih besar pada konsentrasi larutan tinggi. Kubus beton N30 mengalami kerusakan yang lebih besar dibandingkan dengan kubus beton N20 walaupun direndam pada larutan dengan konsentrasi yang sama.
- Penggunaan semen PCC pada lingkungan sulfat mempercepat kerusakan beton karena kandungan C₃A (Triokalsium Aluminat/ *Grossite*) yang besar sehingga pertumbuhan *ettringite* pada beton meningkat.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI 211.1-91. (1991). Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete.
- Antiohos, S. and Tsimas, S. (2005). “Investigating the Role of Reactive Silica in the Hydration Mechanisms of High-Calcium Fly Ash/Cement Systems”. *Cement and Concrete Composites*, Vol.27, Issue 2, pp.171-181.
- Cizer, O., dkk. (2011). “Microstructural Changes In Self-Compacting Concrete By-Sulphuric Acid Attack”. *Proceeding of the 13th ICCI International Congress on the Chemistry of Cement*, 1-7.
- Fernando, Pacheco-Torgal dan Jalali Said. (2010). *Resistance to Acid Attack, abrasion and leaching behavior of alkali-activated mine waste binders*.
- Neville. A. M. dan Brooks J.J. (2005). *Concrete Technology* :4th Edition. New York: Longman Scientific & Technical.
- Neville, A.M. (1995). *Properties of Concrete*. Prentice Hall.
- Paul Nugraha & Antoni. (2007). Diterjemahkan oleh Nugraha. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Skalny, J, dkk. (2002). *Sulphate Attack On Concrete*. London dan New York: Spon Press.
- Standar Nasional Indonesia 1974-2011. (2011). *Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder*. Badan Standarisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia 7064-2014. (2014). *Semen Portland Komposit*. Badan Standarisasi Nasional.