

PENINGKATAN DURABILITAS BETON KONVENSIONAL DAN HVFA YANG MENGGUNAKAN METODE PERAWATAN *STEAM CURING* DENGAN *COATING* LARUTAN ALKALI DAN PASTA GEOPOLIMER

Yoanes Maria Louis¹, Antoni² and Djwantoro Hardjito³

ABSTRAK: Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui peningkatan durabilitas beton dengan mengaplikasikan larutan alkali dan pasta geopolimer. Selain itu bagaimana pengaruh penggunaan metode perawatan *steam curing* pada beton, serta penggunaan variasi nilai molaritas dari *coatings* terhadap durabilitas beton. Pengujian durabilitas dibagi menjadi dua, yaitu pengujian penetrasi ion klorida dengan menggunakan *Rapid Migration Test* dan pengujian perendaman dalam larutan asam sulfat dengan kadar 10% dengan menggunakan metode *Wet-dry cycle test*. Dari pengujian yang telah dilakukan didapatkan hasil bahwa dengan pengaplikasian larutan alkali dan pasta geopolimer durabilitas dari beton konvensional dan beton HVFA dapat meningkat. Selain itu dengan penggunaan metode perawatan *steam curing* dan peningkatan nilai molaritas pada larutan alkali dan pasta geopolimer juga dapat meningkatkan durabilitas dari beton terhadap pengujian perendaman asam sulfat. Namun dampak dari penggunaan metode perawatan *steam curing* dapat membuat beton mempunyai nilai penetrasi ion klorida yang lebih besar dibandingkan dengan yang tidak dirawat dengan metode perawatan *steam curing*.

Kata Kunci: durabilitas, *steam curing*, asam sulfat, *wet-dry cycle test*, penetrasi ion klorida, larutan alkali, pasta geopolimer

1. PENDAHULUAN

Beton masih merupakan material utama yang digunakan dalam proyek konstruksi, sehingga dituntut untuk mempunyai ketahanan yang tinggi (*durable*) terhadap segala kondisi pada tempat dan waktu yang direncanakan (*serviceability*). Terdapat banyak faktor yang dapat menyebabkan berkurangnya durabilitas, salah satunya adalah serangan sulfat yang berada dalam tanah, ataupun serangan ion klorida yang terkandung pada air laut. Elemen utama pada beton yang langsung berhubungan dengan segala kondisi lingkungan adalah permukaan beton, sehingga kualitas ketahanan dan durabilitasnya perlu mendapat perhatian khusus. Dengan melakukan *treatment* pada permukaan beton, diharapkan *serviceability* dan *durability* pada beton dapat meningkat. *Treatment* pada permukaan beton diklasifikasikan menjadi tiga kelompok oleh EN 1504-2:2004: *hydrophobic impregnation* (memproduksi permukaan yang menahan air), *impregnation* (mengurangi porositas permukaan), dan *coatings* (memberi lapisan pelindung secara kontinyu pada permukaan beton).

Penelitian mengenai durabilitas beton pernah dilakukan oleh Setyawan & Wiratmoko (2007) dengan mencampurkan larutan alkali sebesar 40% dari total pengikat pada saat pembuatan beton *fly ash*. Hasil yang didapatkan pada penelitian itu adalah beton yang dicampur dengan larutan alkali mempunyai durabilitas yang lebih baik, namun mempunyai kuat tekan yang lebih rendah bila dibandingkan dengan beton yang tidak dicampur larutan alkali.

¹ Mahasiswa Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, louisadhiprasetya@hotmail.com

² Dosen Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, antoni@petra.ac.id

³ Dosen Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, djwantoro.h@petra.ac.id

Penelitian mengenai durabilitas beton juga dilakukan oleh Yang, Wang, Xiong (2012) dimana metode yang digunakan untuk mengurangi penetrasi ion klorida adalah dengan mencampurkan silane pada lapisan permukaan beton. Penelitian lain dilakukan oleh Eliza, Barbara, & Carlo (2013) dengan mengaplikasikan etil silikat pada permukaan beton, sehingga masuknya air ke dalam beton dapat dibatasi dan beton beton mempunyai ketahanan terhadap paparan klorida dan karbon dioksida lebih baik.

Wattimena, et al (2013) melakukan penelitian dengan mengaplikasikan larutan alkali pada permukaan beton yang telah mengeras. Beton yang digunakan oleh Wattimena et al. mempunyai mutu yang rendah, yaitu 24 MPa pada hari ke-28 dan 26 MPa pada hari ke-56. Dengan rendahnya mutu beton yang dipakai pada penelitian ini, nilai efektifitas dari pengaplikasian larutan alkali pada beton HVFA akan sulit untuk diteliti karena penurunan kuat tekan saat dilakukan pengujian durabilitas juga relatif rendah. Dari penelitian tersebut didapatkan kesimpulan bahwa beton yang telah dilapisi dengan larutan alkali mempunyai durabilitas yang lebih baik dibandingkan beton yang tidak dilapisi oleh larutan alkali.

Penelitian mengenai peningkatan durabilitas beton dengan pengaplikasian larutan alkali dan pasta geopolimer juga dilakukan oleh Wiyono (2015). Dari hasil penelitian tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa dengan pengaplikasian larutan alkali 8M dan pasta geopolimer 10M, durabilitas beton terhadap perendaman asam sulfat dan penetrasi ion klorida menjadi lebih baik bila dibandingkan dengan beton yang tidak diaplikasi dengan larutan alkali dan pasta geopolimer. Namun masih belum diketahui bagaimana dampak dari penggunaan molaritas yang lebih tinggi pada larutan alkali dan pasta geopolimer sebagai *coating* pada beton konvensional dan HVFA. Selain itu Wiyono. belum membahas mengenai dampak pengaplikasian larutan alkali dan pasta geopolimer pada beton yang menggunakan metode *steam curing*. *Steam curing* merupakan proses *curing* yang banyak digunakan pada industri beton *precast* untuk mempercepat *setting* beton dan meningkatkan kuat tekan awalnya. Penggunaan *steam curing* dalam industri beton juga lebih hemat dari segi biaya, karena hanya menggunakan air yang dipanaskan.

2. MATERIAL YANG DIGUNAKAN

Beton yang digunakan dalam penelitian ini adalah beton konvensional dan beton HVFA dengan persentase 50% dari massa total *cementitious material*. Semen yang digunakan adalah semen gresik dengan tipe PPC (*Portland Pozzolan Cement*) kemasan 40kg. Untuk agregat halus, digunakan pasir Lumajang dengan berat jenis (Gs) = 2.79, kadar air dalam pasir (Wc) = 1.582%, serta modulus kehalusan (FM) = 2.41. Sedangkan untuk agregat kasar digunakan ukuran maksimum 1 – 2 cm, berat jenis (Gs) = 2.62, dan kadar air (Wc) = 2.95. Untuk pembuatan larutan alkali dan pasta geopolimer digunakan padatan Sodium Hidroksida (NaOH) dan larutan Sodium Silikat (Na₂SiO₃) dengan spesifikasi Na₂O=17.14% dan SiO₂=36.71% yang didapatkan dari PT. Brataco, serta *fly ash* tipe F yang didapatkan dari sisa pembakaran batu bara PLTU Paiton dengan komposisi oksida seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Oksida *Fly Ash*

Senyawa	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	MgO	SO ₃	Ti ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	Na ₂ O	Mn ₃ O ₄
Kandungan (%)	51.12	18.9	17.71	5.54	0.82	3.17	0.63	0.98	0.01	0.47	0.14

Air menggunakan air PDAM yang didapatkan dari lab beton UK.Petra Surabaya. Untuk *admixture* menggunakan tipe *High Range Water Reducer Admixture* atau *superplasticizer* Glenium ACE 8590 yang didapatkan dari PT. BASF. *Admixture* ini digunakan pada pembuatan beton konvensional dengan w/c=0.3 agar didapatkan *flow* diameter 16cm.

3. METODE PENELITIAN

Beton yang digunakan pada penelitian ini adalah beton konvensional dan beton HVFA dengan *mix design* yang sama dengan yang dilakukan oleh Wiyono (2015). *Mix design* beton konvensional dan HVFA dapat dilihat pada Tabel 2. Benda uji yang digunakan terbagi menjadi 2 macam, yaitu benda uji silinder dengan ukuran diameter 10cm dan tinggi 20cm, dan benda uji kubus 10cm x 10cm x 10cm. Benda uji silinder digunakan untuk pengujian penetrasi ion klorida. Sedangkan benda uji kubus digunakan untuk pengujian beton terhadap perendaman asam sulfat.

Tabel 2. *Mix Design* Beton Konvensional dan Beton HVFA

Jenis Beton	Semen (kg/m ³)	Fly Ash (kg/m ³)	Pasir (kg/m ³)	Agregat Kasar (kg/m ³)	Air (liter/m ³)	Super plasticizer
Konvensional	423	-	910	986	169.2	0,1% dari berat (semen+pozzolan)
HVFA	211.5	211.5	910	986	169.2	0% dari berat (semen+pozzolan)

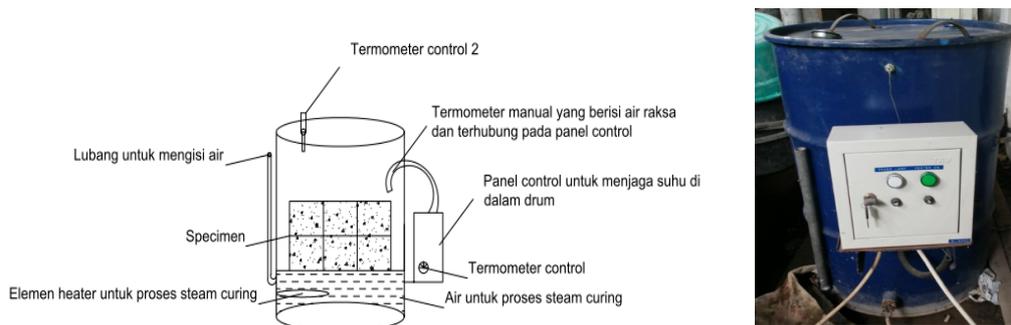
Pembuatan dan pengaplikasian lapisan *coating* dilakukan pada permukaan beton yang telah mengeras. Pembuatan lapisan *coating* dilakukan sesuai dengan pembagian kadar yang ditunjukkan pada Tabel 3. dan Tabel 4. Sedangkan pengaplikasian lapisan *coating* dilakukan dengan bantuan kuas secara vertikal dan dikuas kembali secara horizontal.

Tabel 3. Pembuatan Larutan Alkali

Konsentrasi	Massa Air	Massa NaOH padat	Massa larutan Na ₂ SiO ₃	Massa Larutan
8M	100gr	32gr	64gr	196gr
14M	100gr	56gr	112gr	268gr

Tabel 4. Pembuatan Pasta Geopolimer

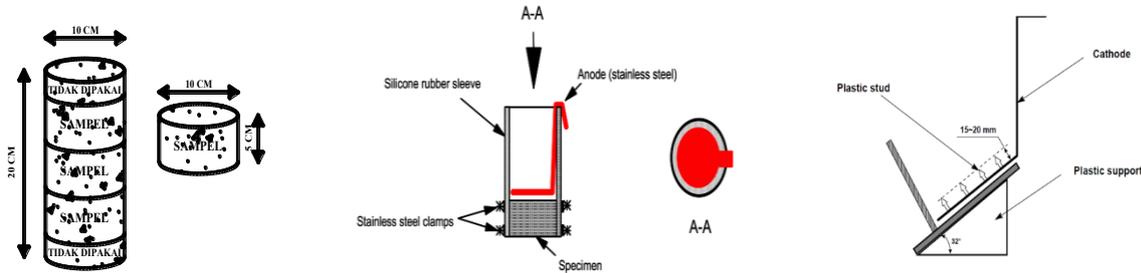
Konsentrasi	Massa Air	Massa NaOH Padat	Massa Larutan Na ₂ SiO ₃	Massa Fly Ash	Massa Pasta
10M	100gr	40gr	350gr	350gr	840gr
14M	100gr	56gr	390gr	390gr	936gr



Gambar 1. Alat *Steam Curing*

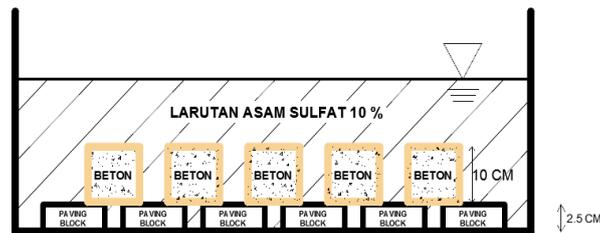
Proses *steam curing* dilakukan setelah beton mengalami *setting* dan suhu yang digunakan adalah 60°C hingga 80°C. Tahapan dalam pelaksanaan *steam curing* ini dibagi menjadi 3 tahap, yaitu 3 jam pertama beton ditempatkan pada suhu ruang setelah proses *casting*, lalu beton di tempatkan pada alat *steam* selama 6 jam dengan kenaikan suhu tiap jam ±10°C dengan suhu maksimal adalah 80°C. Setelah itu beton didinginkan pada suhu ruang. Alat yang dipakai untuk melakukan *steam curing* pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1.

Pengujian durabilitas beton terhadap penetrasi ion klorida dilakukan dengan metode *Rapid Migration Test* seperti pada Gambar 2 sesuai dengan standar NordTest NT Build 492. Pengujian dilakukan pada saat beton berumur 28 hari. Secara umum pengujian ini dilakukan untuk mempercepat penetrasi ion klorida ke dalam beton dengan bantuan arus listrik searah. Larutan *silver nitrat* ($AgNO_3$) disemprotkan pada permukaan beton tersebut untuk mengukur seberapa dalam penetrasi ion klorida yang masuk ke dalam beton.



Gambar 2. Ilustrasi Pengujian Penetrasi Ion Klorida

Asam sulfat yang digunakan pada pengujian durabilitas beton terhadap perendaman asam sulfat adalah asam sulfat pekat 98% yang diencerkan hingga menjadi asam sulfat 10%. Metode pengujian ketahanan sulfat menggunakan metode *wet-dry cycle* dimana beton direndam dalam larutan asam sulfat selama 4 hari, lalu dikeluarkan dan didiamkan pada suhu ruang selama 3 hari. *Cycle* ini diulang terus menerus hingga pengujian kuat tekan. Sebelum direndam dalam larutan sulfat, beton ditimbang terlebih dahulu untuk mengetahui massa awalnya. Data yang diambil adalah massa yang hilang, penurunan kuat tekan, dan proses kerusakan beton secara visual yang diamati selama 28, 56, dan 90 hari. Pengujian ini dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Ilustrasi Perendaman Beton Dalam Larutan Asam Sulfat

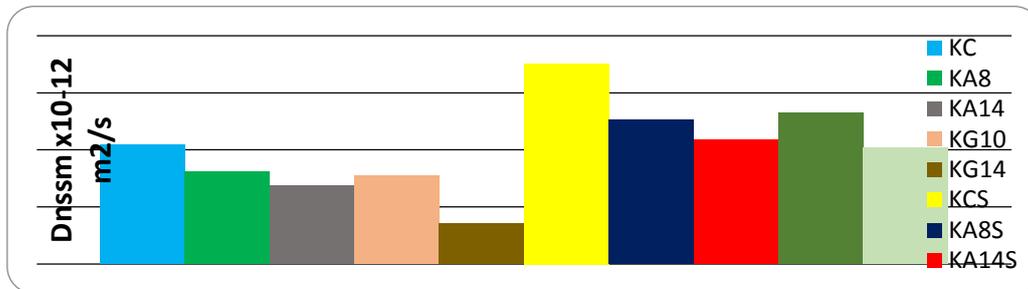
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembahasan dimulai dengan dampak pengaplikasian larutan alkali dan pasta geopolimer untuk meningkatkan durabilitas beton terhadap penetrasi ion klorida, lalu dilanjutkan dengan penurunan massa karena perendaman asam sulfat, dan diakhiri dengan hasil kuat tekan dari beton setelah direndam terhadap asam sulfat disertai dengan pengamatan visual dari perendaman asam sulfat terhadap fisik beton. Untuk memudahkan penulisan data, dibuatlah singkatan untuk jenis beton dan metode aplikasi serta metode curing yang dipakai pada Tabel 5.

Ion klorida merupakan salah satu unsur pada air yang memiliki sifat korosif dan mempengaruhi kuat tekan pada beton. Beton yang mempunyai permeabilitas yang lebih kecil akan mempunyai penetrasi ion klorida yang lebih rendah karena beton tersebut mempunyai pori – pori yang lebih rapat sehingga air semakin sedikit yang dapat masuk ke dalam beton. Beton geopolimer merupakan beton yang mempunyai durabilitas yang paling baik bila dibandingkan dengan beton konvensional dan beton HVFA.. Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Wiyono (2015), nilai D_{nssm} pada beton geopolimer yang menggunakan material *fly ash* adalah $2.5 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$.

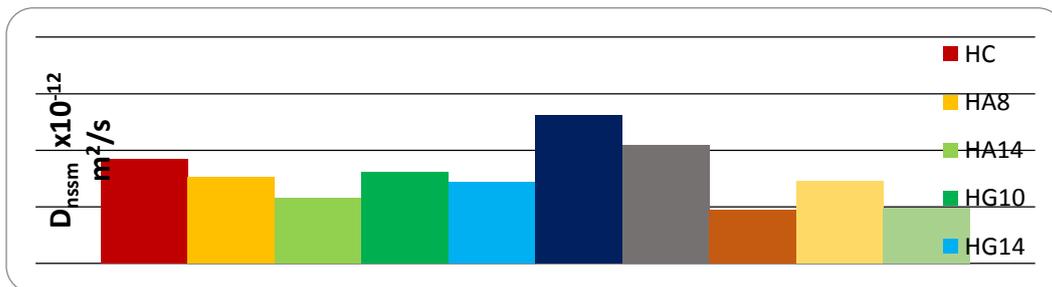
Tabel 5. Penamaan Benda Uji

No	Kode	Keterangan	No	Kode	Keterangan
1	KC	Konvensional Control Rendam Air	13	KCS	Steam Konvensional Control Rendam Air
2	KCR	Konvensional Control Rendam Sulfat	14	KCRS	Steam Konvensional Control Rendam Sulfat
3	KA8	Konvensional <i>Coating</i> Alkali 8M	15	KA8S	Steam Konvensional <i>Coating</i> Alkali 8M
4	KA14	Konvensional <i>Coating</i> Alkali 14M	16	KA14S	Steam Konvensional <i>Coating</i> Alkali 14M
5	KG10	Konvensional Geopolimer 10M	17	KG10S	Steam Konvensional Geopolimer 10M
6	KG14	Konvensional Geopolimer 14M	18	KG14S	Steam Konvensional Geopolimer 14M
7	HC	HVFA Control	19	HCS	Steam HVFA Control
8	HCR	HVFA Control Rendam	20	HCRS	Steam HVFA Control Rendam
9	HA8	HVFA Alkali 8M	21	HA8S	Steam HVFA Alkali 8M
10	HA14	HVFA Alkali 14M	22	HA14S	Steam HVFA Alkali 14M
11	HG10	HVFA Geopolimer 10M	23	HG10S	Steam HVFA Geopolimer 10M
12	HG14	HVFA Geopolimer 14M	24	HG14S	Steam HVFA Geopolimer 14M



Gambar 4. Pengujian Penetrasi Ion Klorida Beton Konvensional

Dari Gambar 4. penggunaan metode *steam curing* pada beton konvensional pada uji penetrasi ion klorida tidak berdampak signifikan, karena hampir semua beton konvensional yang menggunakan metode *steam curing* mempunyai penetrasi ion klorida lebih besar dibandingkan dengan beton yang tidak menggunakan metode *steam curing*. Penggunaan nilai molaritas yang lebih tinggi dapat menurunkan penetrasi ion klorida yang lebih baik.



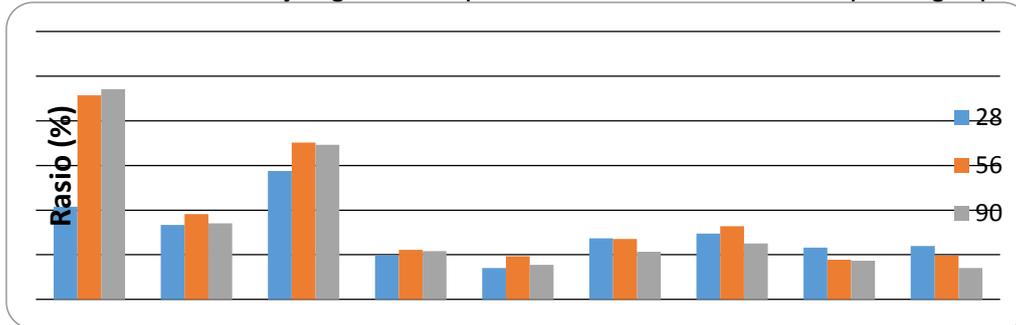
Gambar 5. Pengujian Penetrasi Ion Klorida Beton HVFA

Dari Gambar 5. Dapat dilihat bahwa dengan meningkatkan molaritas pada larutan alkali 8M dan 14M serta pasta geopolimer dari 10M ke 14M maka penurunan penetrasi ion klorida semakin besar. Sedangkan untuk beton HVFA yang melalui metode perawatan *steam curing* dengan aplikasi larutan alkali 14M dan pasta geopolimer 14M dapat meningkatkan durabilitas beton terhadap penetrasi ion klorida hingga 40%.

Gambar 6. dan Gambar 7. merupakan nilai rasio dari penurunan massa beton konvensional dan HVFA karena direndam dalam larutan asam sulfat. Nilai rasio didapatkan dengan pembagian antara beton sampel yang ingin diketahui penurunan massa setelah diaplikasi

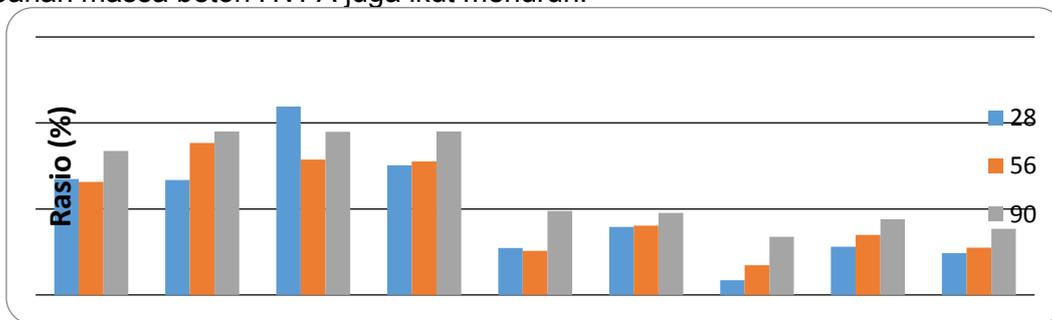
dengan larutan alkali dan pasta geopolimer dan direndam dalam larutan asam sulfat, dengan penurunan massa beton kontrol yang tidak diaplikasi dengan larutan alkali dan pasta geopolimer yang direndam dalam larutan asam sulfat, dikalikan dengan 100%. Semakin rendah nilai rasio yang didapatkan, maka durabilitas dari beton setelah diaplikasi dengan larutan alkali dan pasta geopolimer menjadi semakin baik.

Pada beton konvensional yang melalui proses *steam curing*, penurunan massa akibat direndam pada asam sulfat mempunyai hasil secara umum yang lebih baik bila dibandingkan dengan beton konvensional yang tidak melalui proses *steam curing*. Pengaplikasian larutan alkali dan pasta geopolimer pada beton konvensional yang melalui proses *steam curing* tidak berdampak signifikan, karena nilai rasio yang didapatkan lebih besar bila dibandingkan dengan beton konvensional yang tidak diaplikasi oleh larutan alkali dan pasta geopolimer.



Gambar 6. Rasio Perubahan Massa Beton Konvensional

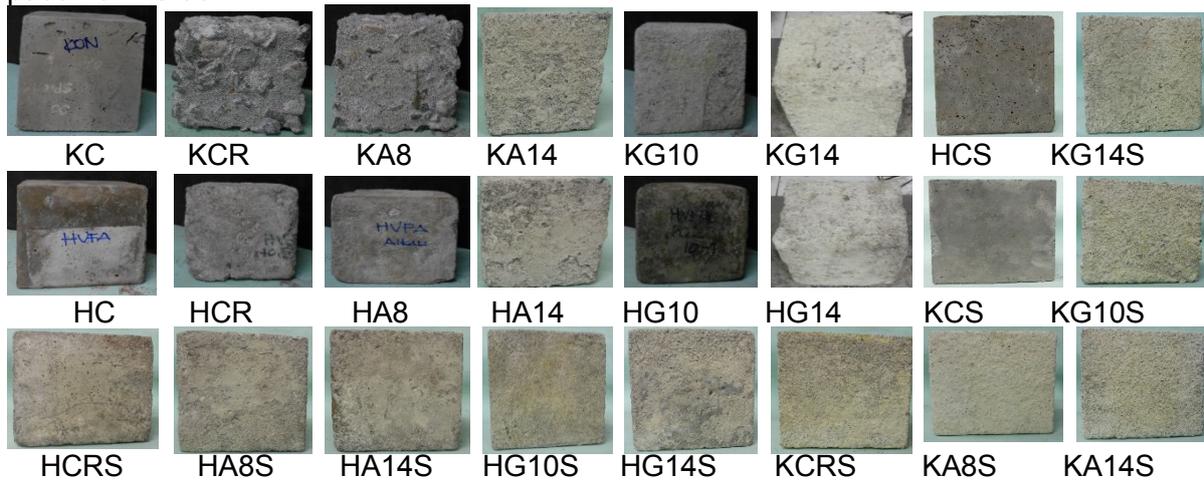
Pada Gambar 7. didapatkan hasil bahwa pengaplikasian larutan alkali dan pasta geopolimer tidak berdampak signifikan, karena penurunan massa terbesar yang dapat dicapai hanya sebesar 16%. Penggunaan metode *steam curing* pada beton HVFA dapat menurunkan nilai rasio perubahan massa beton terhadap perendaman asam sulfat. Dengan menggunakan molaritas yang lebih tinggi pada larutan alkali dan pasta geopolimer, maka nilai rasio perubahan massa beton HVFA juga ikut menurun.



Gambar 7. Rasio Perubahan Massa Beton HVFA

Pengamatan secara visual digunakan untuk mengetahui dampak kerusakan fisik dari beton dan seberapa besar dampak fisik dari pengaplikasian larutan alkali dan pasta geopolimer pada durabilitas beton. Pada penelitian yang dilakukan oleh Wiyono et al. (2015) didapatkan hasil bahwa bentuk fisik beton geopolimer yang berbahan dasar *fly ash* tidak mengalami kerusakan setelah proses perendaman larutan asam sulfat selama 90 hari dengan metode *wet-dry cycle test*. Dari Gambar 8. dapat dilihat bahwa kerusakan paling parah terjadi pada beton konvensional yang tidak dilapisi oleh larutan alkali dan pasta geopolimer, dan diikuti oleh beton yang dilapisi oleh larutan alkali 8M. Sedangkan beton HVFA yang tidak dilapisi oleh larutan alkali dan pasta geopolimer masih mempunyai ketahanan terhadap asam sulfat lebih baik bila dibandingkan dengan beton konvensional yang dilapisi oleh larutan alkali 8M. Pada beton yang telah mengalami proses *steam curing* perubahan bentuk visual tidak berubah signifikan. Kerusakan paling besar terjadi pada beton konvensional yang telah dilapisi dengan

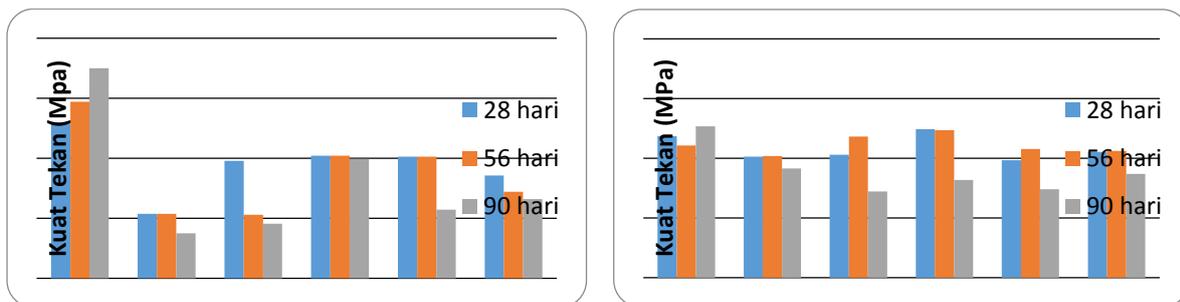
larutan alkali 8M dengan indikasi agregat kasar pada beton mulai terlihat setelah perendaman pada hari ke-90.



Gambar 8. Fisik Beton setelah Direndam dalam Larutan Sulfat 90 Hari

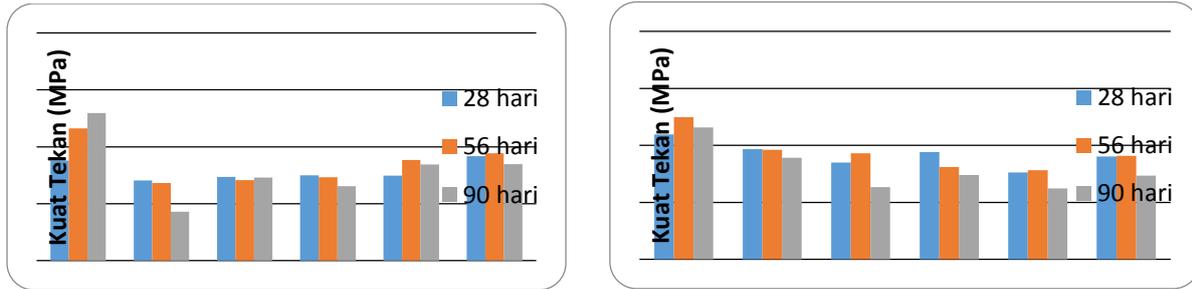
Gambar 9 dan Gambar 10. merupakan hasil kuat tekan beton konvensional dan HVFA dengan aplikasi larutan alkali dan pasta geopolimer, serta efek dari pemanfaatan metode *steam curing* untuk meningkatkan durabilitas beton terhadap uji kuat tekan pada proses perendaman beton dalam larutan asam sulfat.

Dengan menggunakan molaritas yang lebih tinggi untuk larutan alkali dan pasta geopolimer, hasil kuat tekan yang dapat dicapai juga menjadi lebih tinggi. Secara umum dengan penggunaan metode *steam curing* dapat meningkatkan durabilitas beton, namun pengaplikasian larutan alkali dan pasta geopolimer untuk beton konvensional yang melalui metode perawatan *steam curing* tidak berdampak signifikan bila dibandingkan dengan beton konvensional yang tidak melalui proses *steam curing*, karena hasil kuat tekan yang dapat dicapai oleh beton konvensional dengan metode perawatan *steam curing* tanpa diaplikasi oleh larutan alkali dan pasta geopolimer lebih tinggi bila dibandingkan dengan beton lain yang telah diaplikasi dengan larutan alkali dan pasta geopolimer.



Gambar 9. Kuat Tekan Beton Konvensional

Gambar 10. Merupakan hasil kuat tekan beton HVFA dengan aplikasi larutan alkali dan pasta geopolimer, serta efek dari pemanfaatan metode *steam curing* untuk meningkatkan durabilitas beton HVFA terhadap uji kuat tekan pada proses perendaman beton dalam larutan asam sulfat. Untuk beton HVFA, penggunaan larutan alkali dan pasta geopolimer serta penggunaan metode *steam curing* dapat meningkatkan durabilitas beton terhadap perendaman dalam larutan asam sulfat. Pada beton HVFA yang tidak melalui proses *steam curing* kadar molaritas yang digunakan tidak berbanding lurus dengan hasil kuat tekan yang dicapai. Penggunaan larutan alkali 8M mempunyai kuat tekan 2.97 MPa lebih besar dibandingkan dengan penggunaan larutan alkali 14M. Sedangkan dengan penggunaan pasta geopolimer 14M hanya meningkatkan 0.02 MPa saja bila dibandingkan dengan penggunaan pasta geopolimer 10M.



Gambar 10. Kuat Tekan Beton HVFA

5. KESIMPULAN

Dari data yang ada pada bab sebelumnya, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Rasio pengaplikasian larutan alkali dan pasta geopolimer mempunyai hasil yang beragam, bergantung kepada pengujian yang dilakukan, jenis beton yang akan diaplikasi, metode *curing* yang dilakukan, molaritas yang digunakan pada *coating*. Namun dengan menggunakan *coating* pada beton, secara umum durabilitas beton tersebut meningkat.
2. Penggunaan lapisan *coating* geopolimer pada beton konvensional dan beton HVFA hanya bersifat sementara saja. Setelah lapisan tersebut rusak (terkelupas), maka beton itu akan sama seperti beton tanpa *coating*.
3. Metode *steam curing* pada beton dapat meningkatkan durabilitas beton terhadap serangan asam sulfat. Proses kerusakan lapisan ini terjadi pada saat beton telah dikeluarkan dalam larutan asam sulfat pada siklus pertama dari *wet-dry cycle test* dengan tingkat kerusakan yang berbeda pada tiap sampelnya.
4. Beton yang menggunakan metode *steam curing* mempunyai penetrasi terhadap ion klorida yang lebih besar bila dibandingkan dengan beton yang tidak menggunakan *steam curing*. Hal ini disebabkan karena pori-pori pada beton terbuka pada saat proses *steam curing* dan memudahkan ion klorida untuk masuk ke dalam beton.

6. DAFTAR REFERENSI

- Eliza F., Barbara P., & Carlo P. Ethyl Silicate for Surface Protection of Concrete (2013). Performance in comparison with other inorganic surface treatments. *Cement and Concrete Composites*, 44, 69-79.
- Setyawan, R., & Wiratmoko, T. (2007). *Durabilitas beton fly ash yang diaktivasi dengan larutan alkali*. Unpublished undergraduate thesis, Universitas Kristen Petra, Surabaya, Indonesia.
- Wattimena, O. K. , Antoni, Hardjito, D. (2013). Improving Surface Durability of High Volume Fly Ash Concrete with Application of Alkali Solution. *Advanced Materials Research Vol. 626* (2013) pp 636-640.
- Wiyono, D. (2015). Peningkatan Durabilitas pada Beton Pozzolan dengan Coating Larutan Alkali dan Lapisan Geopolimer. *Unpublished Thesis*, Universitas Kristen Petra, Surabaya, Indonesia.
- Yang H., Wang Z., & Xiong J. The effect of surface hydrophobation silane treatment on chloride ion penetration resistance for concrete structures in marine environment. *Advanced Materials Research Vol. 598* (2012) pp 524-530