

Pengaruh Perawatan Air Laut dan Air Tawar terhadap Kuat Tekan Beton Geopolymer yang Memadat Sendiri

Dwi Nurtanto^{1*}, Adelia Adyb Rahayu¹, Winda Tri Wahyuningtyas¹

Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember

Jl. Kalimantan No.37 Krajan Timur Sumbersari Jember 68121 Jawa Timur

*dwinurtanto.teknik@unej.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v14i1.8375>

ABSTRACT

The replacement of 10% cement as pozzolan material with cementitious materials such as fly ash and rice husk ash aims to improve the quality and durability of concrete to aggressive environments, under normal environmental conditions fly ash and rice husk ash are able to improve the quality of concrete. Based on the review was conducted research on the influence of curing sea water and fresh water to strong press self-compacting concrete with fly ash and rice husk ash as a substitute for cement. Cylindrical test objects measuring 10 x 20 cm with strong concrete press testing at the age of 28 and 56 days to determine the durability of concrete to aggressive environments. The process of curing sea water affects the compressive strength as well as the durability of concrete at the age of 28 and 56 days. The highest average compressive strength increases by 19-24% from normal concrete.

Keyword: *aggressive, chloride, concrete, durability, hydration, pozzolan*

PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur menjadi aspek penting dalam mempercepat laju pembangunan nasional di Indonesia. Indonesia adalah Negara Kepulauan yang memiliki luas perairan lebih besar dibandingkan dengan luas daratannya oleh sebab itu, pembangunan infrastruktur juga tidak lepas dari kondisi tersebut. Pembangunan infrastruktur tidak hanya dilakukan di daratan, di daerah pantai atau laut juga ada bangunan seperti jembatan, tol laut, pemecah gelombang, dermaga, *jetty*, *piers*, dermaga dan lain sebagainya yang mendukung laju pembangunan nasional.

Proyek pembangunan infrastuktur erat kaitannya dengan penggunaan beton. Banyak faktor yang mempengaruhi kekuatan dan keawetan beton yang dihasilkan, salah satunya adalah proses perawatan atau *curing*. Perawatan beton biasanya dilakukan dengan air bersih tanpa bahan kimia, yang akan merusak kekuatan beton itu sendiri. Namun dalam proses pengolahan beton di daerah pesisir atau lepas pantai, tidak dapat dihindari adanya kontak dengan air laut. Kontak beton dengan air laut tentunya akan mempengaruhi kuat

tekan beton yang dihasilkan (Uthaman, 2018). Selain itu, pasokan air bersih juga menjadi kendala bagi proyek-proyek yang berlokasi di lepas pantai dan laut. Paparan air laut saat proses curing sangat berbahaya, karena beton akan menyerap, dan garam laut yang ada di air laut akan meresap ke dalam beton melalui lubang-lubang pada beton. Senyawa dalam air laut akan menurunkan kualitas beton sehingga beton tidak dapat mencapai kualitas yang direncanakan (Dicosta, 2019). Ada beberapa cara untuk mengurangi dampak permeabilitas air laut terhadap beton, salah satunya dengan menggunakan material yang memiliki kandungan yang sama dengan semen yaitu silika seperti abu sekam padi dan abu terbang (Cholis *et al.*, 2015).

Bahan tersebut mengandung pozzolan berupa silikon dioksida (SiO_2) yang dapat bereaksi dengan kapur (CaO) dalam air pada suhu kamar kemudian membentuk senyawa yang berperan sebagai pengikat. Ketika pozzolan ditambahkan ke semen, ia akan bereaksi dengan kalsium hidroksida (Ca(OH)_2) dan menghasilkan kalsium silikat

Cite this as:

Nurtanto, D., Rahayu, A.A & Wahyuningtyas, W. T. (2021). Pengaruh Perawatan Air Laut dan Air Tawar terhadap Kuat Tekan Beton Geopolymer yang Memadat Sendiri. *Rekayasa 14 (1)*. 32-38.

doi: <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v14i1.10092>

Article History:

Received: January 24th 2021; **Accepted:** March, 28th 2021

Rekayasa ISSN: 2502-5325 has been Accredited by Ristekdikti (Arjuna) Decree: No. 23/E/KPT/2019 August 8th, 2019 effective until 2023

terhidrasi (C-S-H). Menggunakan abu ampas tebu serta abu sekam padi sebagai pengganti semen terhadap kuat tekan beton yang direndam dengan air laut dan air tawar menunjukkan bahwa perlakuan perendaman air laut mampu meningkatkan kuat tekan beton sebesar 5,8% dari beton normalnya. Hal ini terjadi karena adanya reaksi antara klorida yang ada dalam air laut dengan pozzolan dalam beton segar akan mempercepat perkembangan kuat tekan beton pada usia dini (Maufida, 2018).

Penggantian 10% semen dengan abu sekam padi pada self-compacting concrete mampu meningkatkan kuat tekan pada usia 28 hari yaitu sebesar 55,37 Mpa dibandingkan beton self-compacting concrete tanpa abu sekam padi yaitu 40,57 Mpa (Gusmi *et al.*, 2019). Selain abu sekam padi, penggantian semen dengan 10% fly ash juga dapat meningkatkan laju pertumbuhan kuat tekan yang hampir sama dengan beton normal pada usia muda (<21 hari), kemudian berangsur-angsur naik melebihi 11,5% di umur 21 hari dan 27% dari beton normal di usia 28 hari (Rahman, 2019).

Ramachandran (2016) meneliti tentang pengaruh fly ash terhadap beton yang terpapar ion klorida pada air laut. Sampel yang digunakan yaitu beton normal (NC), beton superplasticizer (SP) dan beton 20% fly ash yang ditambahkan superplasticizer (FA). Hasil penelitian menunjukkan bahwa sampel FA mempunyai durabilitas yang baik terhadap paparan air laut apabila dibandingkan dengan sampel lainnya ditinjau dari uji kuat tekan, uji HCP, uji permeabilitas klorida dan uji karbonasi. Mengingat pentingnya penelitian di atas, maka dilakukan penelitian untuk mempelajari pengaruh perendaman air laut dan air tawar pada beton self-compacting, serta penambahan fly ash dan abu sekam padi sebagai bahan pengganti semen. Hasil penelitian ini akan dijadikan dasar untuk hipotesis tentang pengaruh penambahan abu terbang dan abu sekam padi pada beton yang direndam dalam air laut dan air tawar.

METODE PENELITIAN

Material Penelitian

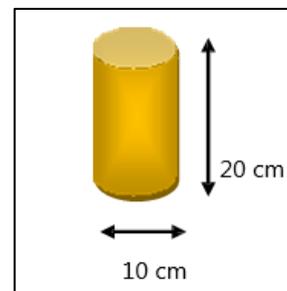
Selain menggunakan material utama beton (pasir, kerikil, semen dan air) dalam penelitian ini digunakan juga material tambahan yang mampu meningkatkan kinerja beton, yaitu fly ash (FA) dan abu sekam padi (ASP).

Variabel

Variabel analisa untuk mendukung eksperimen ini dilakukan dengan mengumpulkan data dari penelitian sebelumnya (data skunder) dengan permasalahan yang berhubungan. Variabel penelitian dibagi menjadi tiga jenis yaitu:

1. Variabel Bebas (Independen): variasi komposisi material beton dengan fly ash dan abu sekam padi; jumlah air.
2. Variabel Terikat (Dependen): nilai slump; kuat tekan; berat isi beton.
3. Variabel Kontrol (Pengendali : faktor air semen; ukuran maksimum agregat; umur beton; tipe semen; cara perawatan beton.

Dalam penelitian ini akan digunakan benda uji berbentuk silinder untuk pengujian kuat tekan dengan spesifikasi seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Model Benda Uji Silinder Beton

Tabel 1. Komposisi Benda Uji

No.	Komposisi Campuran	Umur	
		28	56
1.	0% FA + 0% ASP	4	4
2.	7,5% FA + 2,5% ASP	4	4
3.	5% FA + 5% ASP	4	4
4.	10% FA	4	4
5.	10% ASP	4	4
Total Benda Uji x 2 (Laut dan Tawar)		40	40
		80	

HASIL DAN PEMBAHASAN

Mix Design dan Pengujian Beton Segar

Setelah semua pengujian material selesai dilakukan, maka dilakukan proses mix design. Mix design mengacu pada SNI 03-2834-2000, dengan menambahkan superplasticizer 1% yang diekstrak dari berat bahan pengikat, dan mensubstitusi sebagian semen dengan fly ash (FA) dan rice husk ash (ASP), serta menekan detail proporsi beton campuran ada pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Proporsi Campuran Beton Mix Design

Material	Jumlah per m ³
Semen	706,82
Air	233,25
Agregat kasar	575,37
Agregat halus	794,56

Tabel 3. Proporsi Campuran Beton SCC

Kode	Nama Benda Uji	Jumlah	FA	ASP	Ag. Kasar (kg)		Ag. Halus	Air	SP
			(kg)	(kg)	1-5 mm	5-10 mm	(kg)	(L)	(ml)
A	0% FA ; 0% ASP	16	0	0	16,91	16,91	23,93	5,20	213,06
B	5% FA ; 5% ASP	16	1,28	1,28	16,91	16,91	23,93	5,60	213,06
C	7,5% FA ; 2,5% ASP	16	1,92	0,64	16,91	16,91	23,93	5,25	213,06
D	10% FA ; 0% ASP	16	2,56	0,00	16,91	16,91	23,93	5,15	213,06
E	0%FA : 10% ASP	16	0	2,56	16,91	16,91	23,93	6,80	213,06

Tabel 4. Hasil Pengujian Beton Segar

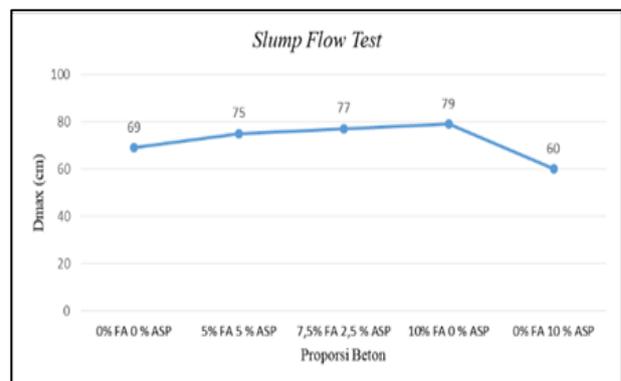
Benda Uji	Slump Flow	L-Shaped Box	V-funnel	Kontrol
	D _{max} (cm)	PA (H2/H1)	T(s)	Slump
0% FA ; 0% ASP	69	0,83	12	OK
5% FA ; 5% ASP	75	0,87	10	OK
7,5% FA ; 2,5% ASP	77	0,89	9	OK
10% FA ; 0% ASP	79	0,91	8	OK
0% FA : 10% ASP	60	0,75	14	NOT OK

Pengujian *slump flow* dilakukan menggunakan kerucut abrasif dan plat besi. Pengujian ini sama dengan pengujian slump pada beton normal, namun pada pengujian beton segar SCC kerucut abrasif diposisikan dalam keadaan terbalik. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan beton segar SCC mengalir memenuhi ruang menggunakan beratnya sendiri. Hasil dari pengujian ini adalah diameter maksimum yang dicapai beton segar SCC saat berhenti mengalir, kategori untuk hasil diameter maksimum ada tiga kategori yaitu : (EFNARC, 2005)

1. SF 1 dengan rentang diameter 55 – 65 cm,
2. SF 2 dengan rentang diameter 66 – 75 cm dan
3. SF 3 dengan rentang diameter maks 76 – 85 cm.

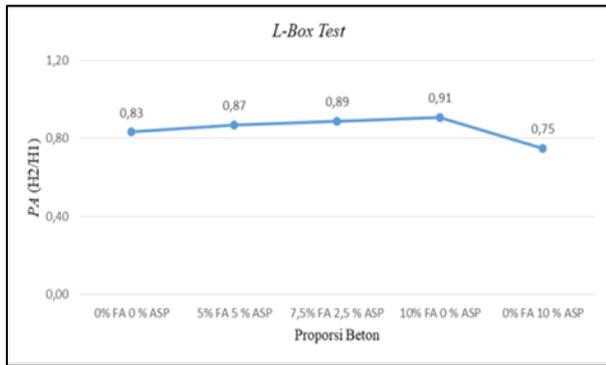
Gambar 2 menunjukkan bahwa hasil pengujian pada beton segar dengan proporsi A memiliki diameter 69 cm dan proporsi E memiliki diameter 60 cm masuk ke dalam kategori SF 1, proporsi B memiliki diameter 75 cm masuk kategori SF 2, sedangkan proporsi C memiliki diameter 77 cm dan

D memiliki diameter 79 cm masuk dalam kategori SF 3.



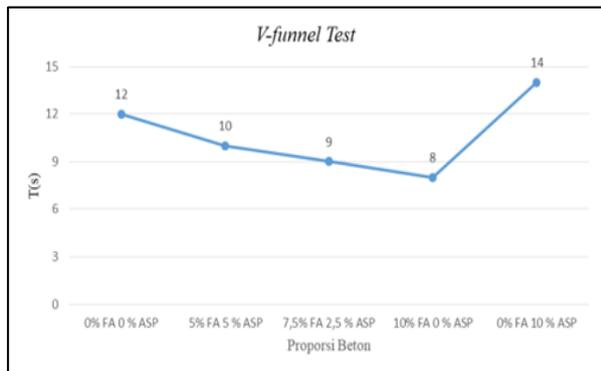
Gambar 2. Grafik Uji Slump Flow

Uji *L-shaped box* dilakukan untuk menentukan kemampuan campuran beton segar melewati celah sempit serta mengisi ruang. Hasil pengujian berupa nilai rasio H2 / H1 atau nilai *passing ability* (PA) dengan ketentuan $PA \geq 0.8$, dengan tiga lapisan penguat penghalang (EFNARC, 2005). Hasil pengujian ditunjukkan pada gambar di bawah ini :



Gambar 3. Grafik Uji L-Shaped Box

Hasil pengujian dalam Gambar 3 menunjukkan bahwa proporsi A; B; C dan D memenuhi ketentuan nilai PA dalam EFNARC yaitu $\geq 0,8$. Sedangkan proporsi E tidak memenuhi ketentuan tersebut, hal ini disebabkan beton segar dalam kondisi yang masih kental meskipun sudah ditambahkan air untuk meningkatkan kelecakannya sebagai dampak tingginya kandungan abu sekam padi pada proporsi ini.



Gambar 4. Grafik Uji V-funnel

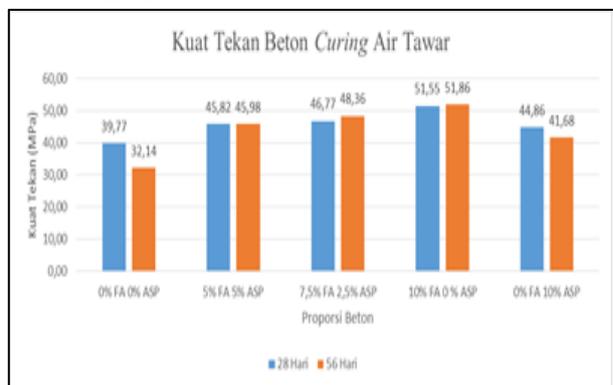
Pengujian *V-funnel* dilakukan untuk mengetahui waktu mengalir beton segar mengalir hingga beton segar dalam *V-funnel* habis. Dapat dilihat dari Gambar 4 bahwa semakin besar proporsi *fly ash* pada campuran beton maka semakin besar pula percepatan aliran beton segar. Terbukti pada proporsi beton A; B; C; D, mengalami percepatan waktu mengalir untuk setiap proporsinya. Waktu paling singkat dimiliki oleh beton segar dengan proporsi D yaitu sebesar 8 detik. Sedangkan waktu paling lama dimiliki oleh beton segar proporsi E yaitu sebesar 14 detik, hal ini disebabkan karena adanya abu sekam padi dalam proporsi tersebut menyerap air lebih cepat dan dalam jumlah besar sehingga tidak tercapai kekentalan beton segar yang diinginkan. Semakin besar proporsi *fly ash* semakin rendah viskositas beton segar, berarti penambahan *fly ash* dapat meningkatkan filling ability dan kecepatan mengalir beton segar,

sehingga beton segar mampu mengisi ruang kosong dengan berat sendirinya. Berdasarkan aturan EFNARC kategori beton SCC, ketentuan durasi untuk pengujian *v-funnel* yaitu 0 – 8 detik kategori SCC VF1 dan 9 – 25 detik kategori SCC VF2. Proporsi D masuk dalam kategori SCC VF1 sedangkan empat proporsi lainnya masuk dalam kategori SCC VF2.

Hasil pengujian beton segar diatas menunjukkan tingkat kelecakan beton segar pada saat proses *mixing*. Berdasarkan hasil pengujian beton segar, beton segar dengan kandungan *fly ash* 10% dari berat semen memiliki tingkat kelecakan paling baik dibandingkan campuran beton segar lainnya. Selain itu, semakin besar kandungan abu sekam paditingkat kelecakan beton segar semakin rendah serta campuran beton membutuhkan lebih banyak air sebab sifat abu sekam padi yang menyerap lebih banyak air.

Pengujian Kuat Tekan Hasil Curing Air Tawar

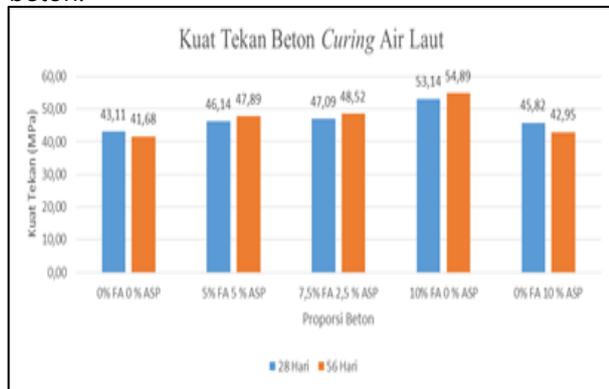
Gambar 5 di bawah ini menunjukkan hasil pengujian kuat tekan beton dengan proses perawatan dalam air tawar selama 28 hari dan 56 hari. Berdasarkan Gambar 5 terdapat 5 macam proporsi campuran beton, beton normal SCC mempunyai kuat tekan sebesar 39,27 Mpa di usia 28 hari dan mengalami penurunan kuat tekan di usia 56 hari dengan kuat tekan sebesar 32,14 Mpa. Sedangkan pada proporsi B; C; E memiliki kuat tekan 45,82 MPa; 46,77 MPa; 44,86 Mpa di usia 28 hari dan 45,98 MPa; 48,36 MPa; 41,86 MPa di usia 56 hari. Kuat tekan tertinggi dimiliki oleh beton D berumur 28 hari dengan nilai 51,55 MPa, beton ini mengalami peningkatan kuat tekan pada saat kuat tekan berumur 56 hari menjadi 51,86 MPa. Terlihat dari gambar tersebut bahwa penggunaan FA sebagai pengganti semen sangat mempengaruhi kuat tekan beton.



Gambar 5. Perbandingan Kuat Tekan dalam Air Tawar

Pengujian Kuat Tekan Hasil Curing Air Laut

Berdasarkan Gambar 6 terdapat 5 variasi campuran beton, beton normal SCC mempunyai kuat tekan sebesar 43,11 Mpa di usia 28 hari dan mengalami penurunan kuat tekan di usia 56 hari dengan kuat tekan sebesar 41,68 Mpa. Sedangkan pada proporsi B; C; E memiliki kuat tekan 46,14 MPa; 47,09 MPa; 45,82 Mpa di usia 28 hari dan 47,89 MPa; 48,52 MPa; 42,95 MPa di usia 56 hari. Kuat tekan beton terbesar terdapat pada beton D yaitu sebesar 53,14 Mpa di usia 28 hari, beton ini mengalami kenaikan kuat tekan pada usia 56 hari dengan kuat tekan sebesar 54,89 MPa. Grafik tersebut dapat menunjukkan bahwa penggunaan *fly ash* sebagai substitusi semen sangat berpengaruh terhadap kuat tekan dan daya tahan beton terhadap lingkungan yang agresif, yang juga dapat meningkatkan mutu beton.

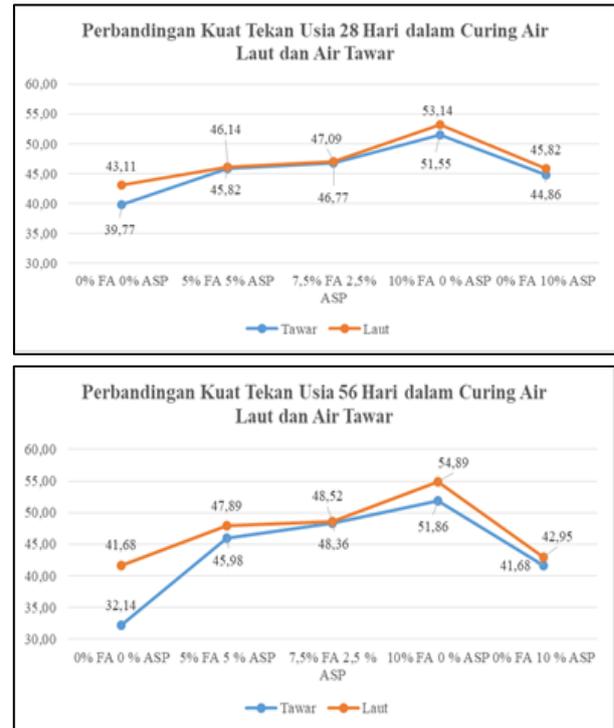


Gambar 6. Perbandingan Kuat Tekan dalam Air Laut

Perbandingan Kuat Tekan Beton Air Laut dan Air Tawar

Dalam penelitian ini diaplikasikan perlakuan yang berbeda untuk proses perawatannya yaitu menggunakan air laut dan air tawar. Dalam air laut dihasilkan beton yang memiliki kuat tekan lebih besar dibandingkan beton dalam perawatan air tawar (Gambar 7). Berdasarkan dua grafik perbandingan, proses curing air laut memiliki pengaruh besar terhadap kuat tekan dan daya tahan beton dengan kandungan *fly ash* (FA) dan abu sekam padi (ASP). Beton dengan kandungan FA dan ASP memiliki kuat tekan yang lebih baik dari beton tanpa kandungan dua material tersebut baik pada di usia 28 dan 56 hari, hal ini disebabkan oleh proses hidrasi FA dan ASP yang lambat namun dalam waktu tertentu *fly ash* dapat terhidrasi sempurna karena air laut berperan sebagai katalisator proses hidrasi. Beton dengan kandungan *fly ash* didapati lapisan seperti kaca, jenuh dan

stabil menyelimuti bagian dalam partikel-partikel *fly ash* yang memiliki sifat porous, amorfus dan reaktif. Lapisan ini tersusun atas Si, Al dan Ca yang hanya bisa dipecahkan pada kondisi alkali. Apabila kondisi alkali air pori memenuhi, reaksi hidrasi dapat berjalan lebih optimal dan lapisan kaca tadi bisa menyebar sehingga reaksi dengan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ meningkat (Ilham, 2012). Dalam penelitian ini kondisi alkali didapatkan dari perendaman air laut, dikatakan alkali apabila derajat keasaman (pH) diatas lebih dari 7,00.



Gambar 7. Grafik Kuat Tekan Beton Curing Air Laut dan Air Tawar 28 Hari dan 56 Hari

Air laut yang digunakan dalam penelitian ini memiliki pH 9 oleh sebab itu reaksi hidrasi *fly ash* lebih sempurna di dalam air laut dibandingkan dengan air tawar. Selain itu, air laut akan menyebabkan pembentukan kristal garam Friedel, sehingga dapat meningkatkan pH dan alkalinitas, serta mampu mempercepat hidrasi semen dan memberikan struktur beton yang lebih padat dengan pori-pori yang lebih kecil (Cheng *et al.*, 2018). Selain itu penggunaan semen PCC juga mampu menahan pengaruh serangan sulfat dalam air laut, semen PCC masuk ke dalam semen tipe I yang mampu menahan sulfat dari air laut sebesar 10 – 20 % (Maufida, 2018). Baik dalam proses *curing* air tawar dan air laut beton proporsi E mengalami penurunan kuat tekan. Pengurangan jumlah semen dalam nilai yang besar yaitu antara 10 – 15% tidak efektif dikarenakan beton mengalami penurunan

kuat tekan dibandingkan dengan beton kondisi normal. Unsur silika yang terdapat dalam abu sekam padi tidak mampu mengimbangi unsur-unsur yang terdapat dalam semen seperti CaO atau kapur sebesar 60 – 65%, silika sebesar 20 – 25%, Fe₂O₃ atau oksida besi dan juga Al₂O₃ atau alumina saat dilakukan pengurangan semen sebesar 10 – 15% (Mahyar dkk, 2018) Selain itu dalam penelitian Tata, penggunaan abu sekam padi yang melampaui batas optimum menyebabkan penyerapan air dalam jumlah besar membuat campuran beton sulit dipadatkan dan menyebabkan keretakan di dalam beton sebagai dampak dari campuran beton yang segregasi.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan pemaparan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa :

1. Proses *curing* air laut memiliki pengaruh besar terhadap kuat tekan dan durabilitas *self-compacting concrete*.
2. *Fly ash* memiliki pengaruh paling besar terhadap peningkatan workabilitas maupun dalam meningkatkan mutu dan daya tahan beton terhadap lingkungan agresif seperti air laut.
3. Kuat tekan beton tertinggi dalam proses *curing* air tawar sebesar 51,55 MPa dan 51,86 MPa pada proporsi 10% FA 0% ASP di umur 28 dan 56 hari.
4. Kuat tekan beton tertinggi dalam proses *curing* air laut sebesar 53,14 MPa dan 54,89 MPa pada proporsi 10% FA 0% ASP di umur 28 dan 56 hari.
5. Proses *curing* beton dalam air laut dapat meningkatkan kekuatan dan *durabilitas* beton, hipotesis ini disebabkan karena kondisi alkali dari air laut mampu meningkatkan reaksi dengan Ca(OH)₂ selain itu karena kandungan klorida di dalam air laut terbentuklah kristal garam friedel pada beton.
6. Bahan *pozzolan* yang paling mampu menahan serangan klorida pada beton adalah *fly ash*.

Saran

Untuk penelitian lebih lanjut dapat menggunakan semen dengan tipe dan merk yang berbeda, dengan proses *curing* air tawar dan air laut. Selain itu diperlukan pengujian sifat mekanik beton lainnya seperti kuat tarik dan modulus elastisitas dan uji kimia air laut yang akan digunakan, uji XRD untuk abu sekam dan *fly ash*, juga uji SEM untuk benda uji. Diperlukan penggunaan agregat halus dengan ketentuan nilai

modulus kehalusan yang sesuai dengan beton mutu tinggi untuk mendapatkan workabilitas yang lebih baik, serta mendapatkan beton yang lebih compact sesuai dengan ketentuan dalam buku Aitcin tentang *High Performance Concrete*.

DAFTAR PUSTAKA

- Aitcin, P.C. (1998). *High-Performance Concrete*. London: E & FN Spon.
- Cheng, S. (2018). Effects of seawater and supplementary cementitious materials on the durability and microstructure of lightweight aggregate concrete. *Construction and Building Materials, Elsevier Ltd, 190*, pp.1081–1090. doi:10.1016/j.conbuildmat.2018.09.178.
- Cholis, A. (2015). Uji Serapan Dan Permeabilitas Air Laut Pada Beton Mutu Tinggi (High Strength Concrete) Dengan Bahan Tambah Abu Sekam Padi. *Jurnal Rekayasa Sipil Politeknik Negeri Andalas*. Vol 12 (2). 1-9 pp.
- Dicosta, R. (2019). Studi Eksperimental Pengaruh Penggunaan Air Tawar Pada Pembuatan Beton dan Air Laut Sebagai Perawatan Terhadap Kuat Tekan Beton. Ridho. *Diploma thesis, Universitas Andalas*.
- Gusmi, B. (2019). Pengaruh Kadar Rice Husk Ash Terhadap Kuat Tekan Pada *High Strength Self Compacting Concrete* (HSSCC) Benda Uji Silinder 7,5 Cm X 15 Cm Usia 14 Dan 28 Hari. *Research Gate*, pp. 21–30. doi: 10.20961/mateksi.v7i1.36524
- Ilham, A. (2012). Pengaruh Sifat-Sifat Fisik dan Kimia Bahan Pozolan pada Beton Kinerja Tinggi. *Media Komunikasi Teknik Sipil*. Vol 13 (3). 75-85 pp. <https://doi.org/10.14710/mkts.v13i3.3923>
- Nurtanto, D & Junaidi, I. (2020) Comparison addition of rice husk ash and roof tile ash on fly ash-based geopolymer cement with portland. *Revista Ingeniería de Construcción, 35(3)*, 287–294. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732020000300287>
- Mahyar, H., Syahyadi, R & Miswar, K. (2019). Pengaruh Penambahan Abu Sekam Padi dan Abu Ampas Tebu Sebagai Substitusi Semen Terhadap Karakteristik Beton Mutu Tinggi. *Prosiding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe, A-212 A-213, 2(1)*, pp. 212–214.

- Maufida, A. (2018). Pengaruh Penggunaan Abu Sekam Padi Dan Abu Ampas Tebu Sebagai Substitusi Semen Terhadap Kuat Tekan Beton Dengan Perlakuan Perendaman Air Tawar Dan Air Laut. *Universitas Jember, Repository Unej-Faculty of Engineering*. <http://repository.unej.ac.id/handle/123456789/87682>.
- Pujianto, A. (2019). Kuat Tekan Beton Dan Nilai Penyerapan Dengan Variasi Perawatan Perendaman Air Laut Dan Air Sungai Kuat Tekan Beton. *Research Gate, Semesta Teknik* 22(2), pp. 112–122. doi: 10.18196/st.222243.
- Ramachandran, D. (2016). Strength And Durability Studies Of Fly Ash Concrete In Sea Water Environments Compared With Normal And Superplasticizer Concrete. *Research Gate, KSCE Journal of Civil Engineering* 21(4), pp. 1–9. doi: 10.1007/s12205-016-0272-4.
- Trisnasari, Z. (2017). Parameter Beton Memadat Mandiri Dengan Kuat Tekan Beton. *Matrik Teknik Sipil*, Vol (5) No 4, pp. 1427–1434. doi: <https://doi.org/10.20961/mateksi.v5i4.36921>
- Uthaman, S. (2018). Enhancement of strength and durability of fly ash concrete in seawater environments: Synergistic effect of nanoparticles. *Construction and Building Materials. Elsevier Ltd*, 187, 448–459 pp. doi:10.1016/j.conbuildmat.2018.07.214.