

Pengaruh pasang surut air laut terhadap kekuatan beton komposit material *Ground Granulated Blast Furnace Slag* (GGBFS)

Muhammad Kemal Rafif, Alfinna Mahya Ummati*

Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Sumatera, Lampung, Indonesia

*Corresponding authors: alfinna.ummati@si.itera.ac

Submitted: 15 February 2023, Revised: 19 November 2023, Accepted: 27 November 2023

ABSTRACT: Concrete is a material that is commonly used to build infrastructure in various environmental conditions, but concrete has a weakness in environments exposed to salt water. So, the engineer intends to research the impact of exposure to sea water on the compressive strength and split tensile strength of concrete, and use GGBFS as a substitute for cement to reduce the impact of exposure to sea water on concrete. In this study, researchers will conduct experiments by exposing concrete to artificial seawater with dry-wet cycles with immersion durations of 24 hours, 16 hours, and 8 hours, as an interpretation of the tide cycle. The test results obtained are by adding 20% of GGBFS to the concrete mixture, the concrete will experience an increase in performance from 29.06 MPa on compressive strength and 2.34 MPa on tensile split strength to be 32.17 MPa on compressive and 2.64 on tensile split strength compared to concrete without the addition of GGBFS, and by exposing it to seawater for 24 hours, concrete with 20% GGBFS mixture has compressive strength which is better than normal concrete without GGBFS mixture, but with 40% GGBFS content the concrete will decrease in performance to 26.98 MPa. Meanwhile, based on the immersion method using sea water that has been carried out, the decrease in concrete performance is most significant to 24.15 MPa in compressive strength when it experiences an 8-hour soaking cycle. This proves that concrete exposed to sea water will experience a decrease in strength, especially in extreme tidal conditions. Utilization of GGBFS as a concrete mix is an effort to utilize waste, but there are ideal proportions and mixing techniques that need to be considered, so that waste concrete does not experience a significant loss of performance.

KEYWORDS: GGBFS; concrete; compressive strength; sea water; tensile strength.

ABSTRAK: Beton merupakan material yang umum digunakan untuk membangun infrastruktur pada berbagai kondisi lingkungan, namun beton memiliki kelemahan pada lingkungan yang terpapar air garam. Sehingga penulis bermaksud meneliti mengenai dampak paparan air laut terhadap kuat tekan dan kuat tarik belah beton, serta menggunakan *Ground Granulated Blast Furnace Slag* (GGBFS) sebagai pengganti semen untuk mengurangi dampak paparan air laut terhadap beton. Pada penelitian ini, peneliti akan melakukan percobaan dengan memaparkan beton dengan air laut buatan dengan siklus kering basah dengan durasi perendaman 24 jam, 16 jam, dan 8 jam, sebagai interpretasi dari siklus pasang surut air laut. Hasil pengujian yang didapat adalah dengan menambahkan GGBFS dalam campuran beton sebanyak 20%, beton akan mengalami peningkatan performa dari 29.06 MPa pada kuat tekan dan 2.34 MPa pada tarik belah menjadi 32.17 MPa pada kuat tekan dan 2.64 pada kuat tarik belah, jika dibandingkan dengan beton tanpa tambahan GGBFS, dan dengan memaparkannya dengan air laut selama 24 jam, beton dengan campuran GGBFS 20% memiliki kuat tekan yang lebih baik dari beton normal tanpa campuran GGBFS, namun dengan kadar GGBFS 40% beton akan mengalami penurunan performa menjadi 26.98 MPa. Sedangkan berdasarkan metode perendaman menggunakan air laut yang telah dilakukan, penurunan performa menjadi 24.15 MPa ketika mengalami siklus perendaman 8 jam, dan pengeringan selama 16 jam. Hal ini membuktikan bahwa beton yang terpapar air laut akan mengalami penurunan kekuatan terlebih pada kondisi pasang-surut yang ekstrim. Pemanfaatan GGBFS sebagai bahan campuran beton merupakan salah satu upaya pemanfaatan limbah, namun terdapat proporsi ideal dan teknik pencampuran yang perlu diperhatikan, sehingga beton limbah tidak mengalami kehilangan performa yang signifikan.

KATA KUNCI: GGBFS; beton; kuat tekan; air laut; kuat tarik.

© The Author(s) 2020. This article is distributed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International license.

1 PENDAHULUAN

Beton merupakan material komposit yang umumnya tersusun dari agregat, semen, dan air. Namun dalam proses pembuatan beton diperlukan penggunaan semen yang merupakan material pengikat, dengan tingkat polusi yang tinggi pada proses pembuatannya. Diperkirakan polusi yang diakibatkan dari proses pembuatan semen pada tahun

2050 akan mencapai 18 miliar ton per tahun (Mehta, 2017). Produksi semen merupakan salah satu penyebab terjadinya pelepasan CO₂ terbesar di dunia dengan 90% dari bahan bakar yang digunakan merupakan bahan bakar yang tidak dapat diperbaharui, serta berkontribusi atas 8% kandungan CO₂ diseluruh dunia (Xi, 2016).

Dengan semakin masifnya penggunaan semen OPC akan berimbas pada meningkatnya produksi

semen, dan akan menimbulkan semakin banyak polusi. Selain masalah lingkungan yang ditimbulkan, beton normal juga akan mengalami penurunan performa ketika terpapar dengan air laut, (Shi et al., 2023). Hal tersebut disebabkan oleh reaksi yang terjadi antara *portlandite* yaitu senyawa yang tercipta dari reaksi antara semen dengan air) dengan garam yang terdapat pada air laut. Reaksi tersebut akan menciptakan garam friedel yang dapat merusak beton dari dalam karena memiliki sifat kembang-susut ketika terpapar suhu dan kelembaban secara bergantian (Gong et al., 2016).

Semen yang bereaksi dengan air akan menghasilkan C-S-H yang merupakan material beton. Selain C-S-H, reaksi tersebut juga menghasilkan Ca(OH)_2 (*portlandite*) yang dapat bereaksi dengan garam yang terdapat pada air laut (Wang et al., 2023). Ca(OH)_2 yang terdapat pada beton, akan bereaksi pada senyawa garam pada air laut (2NaCl) dan menghasilkan CaCl_2 . Dengan bertemunya senyawa CaCl_2 pada beton dengan air, maka akan terbentuk garam friedel ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaCl}_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) (Zheng et al., 2018). Berdasarkan reaksi tersebut didapatkan bahwa penggunaan material bersifat pozzolanik akan mengurangi infiltrasi ion klorida pada beton, (Indriyanto, 2020). Perubahan suhu yang terjadi akibat pasang surut air laut akan mempengaruhi proses hidrasi pada semen, dan dapat mempengaruhi performa beton (Xin, 2020). Selain mempengaruhi hidrasi, pasang surut juga mempengaruhi kembang susut garam friedel dan akan memberikan dampak secara fisik, (Sakr, 2021).

Meskipun lemah terhadap air laut, beton tetap diperlukan untuk membuat sarana maupun prasarana pada lingkungan laut. Dengan luas perairan sebesar 2/3 dari luas daratan dan panjang garis pantai Indonesia sebesar 81000 km dengan 17504 pulau, (Prayogo, 2021). Perlu dilakukan pembangunan di area laut Indonesia, untuk dapat mempermudah mobilisasi dan memanfaatkan perairan Indonesia sebagai salah satu sumber pendapatan negara.

Selain produksi semen yang menghasilkan polusi yang masif, proses produksi besi murni juga menghasilkan banyak limbah kimia yang berbahaya apabila limbah tidak diproses terlebih dahulu. Salah satu limbah yang dihasilkan dari proses pembentukan besi murni yaitu slag, dimana endapan slag akan terbentuk dari proses pembakaran dan pemurnian besi. Namun limbah slag tersebut masih bisa digunakan untuk dijadikan material pengganti semen pada beton. Hal tersebut disebabkan oleh kandungan silika yang tinggi pada slag, akan bereaksi dengan *portlandite* yang ada pada beton, (Chen et al., 2022).

Berdasarkan hal tersebut, penulis bermaksud untuk mengurangi penggunaan semen dan mengganti sebagian dari kebutuhan semen dengan limbah produksi besi, untuk mengurangi polusi tanpa mengurangi mutu dari beton yang dibutuhkan. Selain mengurangi polusi, diperlukan juga peningkatan

performa dari beton yang ramah lingkungan, sehingga pengurangan polusi akan beriringan dengan meningkatnya kekuatan dan ketahanan beton. Dari penelitian sebelumnya, yang dilakukan oleh (Cahyani, 2021) dan (Mohan, 2018), didapatkan hasil penggunaan GGBFS dapat meningkatkan kekuatan dan ketahanan beton pada air laut. Namun pada penelitian kali ini, proses perendaman beton akan menggunakan siklus kering basah setiap harinya dengan tiga jenis perlakuan dengan air laut.

Berbagai kekurangan tersebut, perlu dilakukan penyesuaian campuran beton untuk meminimalisir polusi akibat penggunaan semen sekaligus meningkatkan kekuatan beton pada lingkungan laut. Salah satu hal yang dapat dilakukan adalah dengan menambahkan material pozzolanik yang dapat bereaksi dengan *portlandite* dan menghasilkan material beton (Teng, 2013). Sehingga hasil beton yang didapat, akan memiliki lebih sedikit pori, dibandingkan beton normal (Wang et al., 2019). Dari penelitian yang telah dilakukan oleh (Luo et al., 2014) penggunaan GGBFS dapat mengurangi pori pada beton sebesar 70% bila dibandingkan dengan beton normal.

Dengan menggantikan sebagian semen dengan material pozzolan, akan mengurangi penggunaan semen, dan mengurangi kadar *portlandite* yang dapat bereaksi dengan garam yang terkandung pada air laut, (Kim et al., 2018). Dengan kelemahan beton terhadap air laut, penulis akan menguji ketahanan beton terhadap paparan air laut, menggunakan air laut buatan dengan mencampurkan air tawar dengan garam buatan dengan kadar yang telah ditentukan. Penyesuaian kadar garam akan mengacu pada berat jenis air yang digunakan dan *salinity* meter.

Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBFS) merupakan sebuah material yang tercipta dari proses peleburan baja lalu melewati fase pendinginan setelah proses leleh sehingga terbentuk terak peleburan yang nantinya akan digiling hingga berbentuk bubuk yang disebut *Ground Granulated Blast Furnace Slag*. Material ini memiliki sifat pozzolanik yang memiliki kandungan silika di atas 30% dan diharapkan mampu meningkatkan kekuatan beton dan mengurangi penggunaan semen (Topcu, 2013).

Salah satu faktor yang mempengaruhi kuat tekan beton adalah rasio antara air dengan semen. Semakin banyak kadar air yang digunakan, maka kuat tekan beton akan semakin menurun. Pada kondisi lingkungan tertentu, kadar semen dalam campuran beton perlu disesuaikan dengan kondisi paparan tinggi, beton setidaknya mengandung semen 380 kg/m^3 dengan nilai faktor air semen maksimum sebesar 0.45, apabila menggunakan ukuran agregat maksimum 20 mm, berdasarkan SNI 03-2834-2000. Hal tersebut diperlukan untuk mengurangi permeabilitas beton sehingga paparan asam ataupun garam pada air sukar masuk kedalam beton.

Untuk membuktikan peningkatan kekuatan dari beton perlu dilakukan pengujian kuat tekan pada beton. Salah satu pengujian yang dapat dilakukan adalah dengan melakukan pengujian tekan pada beton. Pengujian tekan pada beton dilakukan dengan memberikan gaya tekan dari sisi atas dan bawah beton. Bentuk spesimen yang digunakan adalah kubus, balok, dan silinder. Kuat tekan beton normal, biasanya dilakukan pada usia beton 28 hari (Hassaon et al., 2008). Masih dari sumber yang sama, untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton perlu dilakukan perhitungan dengan membagi antara beban yang diberikan mesin (kN) dengan luas penampang dari benda uji (mm^2). Maka akan didapatkan hasil kuat tekan (MPa) yang diperlukan.

Beton merupakan material yang memiliki kuat tekan yang tinggi dan mudah dibentuk, semakin besar luas penampang pada beton, maka akan semakin besar juga kuat tekan beton, (Yng et al., 2019). namun beton tidak memiliki kuat tarik yang lemah. Kekuatan tarik beton biasanya setara dengan 7-11%. Pengujian Kuat tarik beton terbagi menjadi dua jenis, yakni kuat tarik langsung, dan kuat tarik tidak langsung (Bairan et al., 2014). Salah satu pengujian kuat tarik tidak langsung adalah dengan melakukan *brazillian test* yaitu kuat tarik belah. Melakukan pengujian kuat tarik belah dilakukan menggunakan beton berbentuk silinder dengan memberikan gaya tekan pada selimut silinder pada sisi yang berlawanan. Dengan demikian, beton akan mengalami keruntuhan akibat gaya tarik yang terjadi akibat dari deformasi (Nurokhman, 2020). Untuk mendapatkan kuat tarik beton dengan pengujian kuat tarik belah, digunakan perhitungan dengan membagi dua kali beban yang diberi (kN), dengan tinggi silinder (cm), diameter (cm), dan π .

Kelemahan beton pada kuat tariknya disebabkan oleh material penyusunnya, yang mana beton merupakan campuran agregat yang disatukan menggunakan pasta semen. Sehingga keruntuhan beton normal biasa terjadi pada bagian *Interfacial Transsition Zone* (ITZ), yakni area pertemuan antara permukaan agregat, dengan pasta semen (Wang, 2019).

Pada penelitian yang telah dilakukan oleh (Cahyani et.al 2021) mengenai dampak pemaparan beton menggunakan air laut dengan siklus kering basah. Penelitian tersebut menggunakan spesimen berbentuk kubus dengan panjang sisi 15 cm. didapatkan bahwa penggunaan GGBFS sebanyak 30 % dari penggunaan semen memberikan ketahanan beton terhadap air laut paling optimal. Penelitian lain yang dilakukan oleh (Junaidi, 2009) mengenai beton yang terpapar siklus kering basah menggunakan air laut. Beton mengalami penurunan performa ketika diberikan siklus kering basah. Siklus yang dilakukan pada penelitian ini dilakukan adalah siklus mingguan. Beton beri pemaparan air laut selama lima hari, dan dikeringkan selama 2 hari.

Sedangkan pada penelitian yang dilakukan oleh (Zheng, 2018), yang melakukan penelitian mengenai perbandingan kuat tekan dan kuat tarik beton yang terpapar antara air laut, air tawar, dan perendaman standar, didapatkan hasil kuat tarik beton yang direndam menggunakan air laut mengalami penurunan jika dibandingkan dengan beton yang direndam menggunakan perendaman standar.

2 METODOLOGI

Spesimen yang dibuat dalam penelitian ini menggunakan acuan dari SNI 03-2834-2000, mengenai tatacara pembuatan rencana campuran beton normal dengan mencampurkan material GGBFS sebagai material pozzolan pengganti semen. Dalam pelaksanaannya, GGBFS yang akan digunakan akan disaring terlebih dahulu menggunakan saringan No.200 atau diameter 0.08 mm.

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Struktur Institut Teknologi Sumatera. Kuat tekan rencana yang didesain pada penelitian ini adalah beton dengan mutu 28 MPa. Pada tahap persiapan, material yang akan digunakan akan melalui berbagai pengujian kualitas untuk mendapatkan mutu beton yang direncanakan. Adapun berbagai pemeriksaan kondisi material diantaranya sebagai berikut:

1. Pemeriksaan analisa saringan agregat.
2. Pemeriksaan berat jenis agregat.
3. Pemeriksaan kadar air agregat.
4. Pemeriksaan berat jenis semen.
5. Pemeriksaan kadar lumpur agregat.
6. Pemeriksaan zat organik agregat halus.

Sedangkan untuk variasi spesimen beton yang dibuat yaitu:

1. Beton dengan umur 28 hari dengan nilai slump 30 mm - 60 mm menggunakan mould berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm.
2. Variasi material pengganti semen (GGBFS) dengan kadar 0%, 20%, dan 40%.
3. Jumlah benda uji yang dibuat sebanyak 24 buah dengan 3 buah beton memiliki kesamaan dalam campurannya dan pemaparannya pada proses perendaman sehingga total dari spesimen yang dibuat sebanyak 72 spesimen.
4. Masing masing beton dengan variasi campuran tersebut akan diberikan perlakuan perendaman yang berbeda, variasi yang digunakan pada proses perendaman dilakukan dengan menggunakan air tawar 24 jam/hari, air laut 24 jam/hari, air laut 16 jam/hari, dan air laut 8 jam/hari.

Semen yang akan digunakan pada penelitian ini merupakan semen *Portland Composite Cemen* (PCC) yang diproduksi oleh PT. Indocement Tunggal Perkasa Tbk (Semen Tiga Roda), dengan agregat halus yang berasal dari Gunung Sugih. Sedangkan material GGBFS yang digunakan merupakan material yang

didapat dari PT. Krakatau Semen Indonesia yang berlokasi di Serang, Banten. Setelah dilakukan pembentukan spesimen, penulis akan menguji beton dengan pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah. Pengujian kuat tekan beton akan menggunakan persamaan:

$$F_c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (1)$$

dimana, P adalah gaya yang diterima (kN), A merupakan luas penampang beton (mm²) dan F_c merepresentasikan kuat tekan beton (MPa). Pengujian kuat tarik belah beton akan menggunakan persamaan:

$$f'_t = \frac{2 \times P}{\pi \times D \times L} \dots\dots\dots (2)$$

dimana, f'_t adalah tegangan tarik belah (N/mm²), P merupakan beban maksimum yang diterima (kN), L

adalah panjang benda uji (cm), dan D ialah diameter benda uji (cm).

Berdasarkan penelitian yang akan dilakukan, diperlukan variasi pada beton, untuk mendapatkan komposisi terbaik dari susunan material yang akan digunakan. Adapun kebutuhan material untuk satu spesimen benda uji dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm akan disesuaikan dengan panduan pembuatan beton yang terdapat pada SNI 03-2834-2000. Penamaan spesimen pada penelitian kali ini menyesuaikan pada kadar GGBFS yang ditambahkan, serta metode curing yang digunakan. Tabel 1 menunjukkan kode, komposisi, dan perlakuan yang terdapat pada beton.

Tabel 1. Kebutuhan air tanaman selama satu musim tanam

No	Keterangan		Kode	Kebutuhan Bahan				
	GGBFS	Curing		1	Agregat Halus	Agregat Kasar	Semen	GGBFS
1		Normal	G0N	3.15	5.43	2.47	0.00	1.11
2	0%	24h Air Laut	G0H24	3.15	5.43	2.47	0.00	1.11
3		16h Air Laut	G0H16	3.15	5.43	2.47	0.00	1.11
4		8h Air Laut	G0H8	3.15	5.43	2.47	0.00	1.11
5		Normal	G2N	3.15	5.43	1.98	0.49	1.16
6	20%	24h Air Laut	G2H24	3.15	5.43	1.98	0.49	1.16
7		16h Air Laut	G2H16	3.15	5.43	1.98	0.49	1.16
8		8h Air Laut	G2H8	3.15	5.43	1.98	0.49	1.16
9		Normal	G4N	3.15	5.43	1.48	0.99	1.21
10	40%	24h Air Laut	G4H24	3.15	5.43	1.48	0.99	1.21
11		16h Air Laut	G4H16	3.15	5.43	1.48	0.99	1.21
12		8h Air Laut	G4H24	3.15	5.43	1.48	0.99	1.21

Setiap melakukan penambahan GGBFS akan diiringi penambahan jumlah air. Hal ini diperlukan sebab berat jenis dari GGBFS lebih kecil dibandingkan dengan berat jenis semen. Sehingga dengan berat yang sama, jumlah GGBFS akan lebih banyak dibandingkan dengan semen. Sehingga penambahan air diperlukan untuk menjaga nilai slump yang direncanakan, (Nishanth et al., 2022).

Saat melakukan proses mencampuran beton, terdapat beragam metode pencampuran. Salah satu metode pencampuran yang dapat digunakan adalah metode *Two Stage Mixing Approach* (TSMA). Metode TSMA dilakukan dengan membagi waktu pencampuran air menjadi dua bagian. Pada bagian awal campuran akan meliputi agregat halus dan agregat kasar saja, yang akan di campur selama 60 detik. Setelah itu separuh air yang akan digunakan dicampurkan kedalam campuran selama 60 detik, lalu memasukan semen dan dicampur setelah 30 detik. Pada tahap akhir sisa air yang akan digunakan, dimasukkan

kedalam campuran, dan dicampur selama 120 detik. Dari penelitian yang dilakukan dengan metode tersebut, dapat meningkatkan kekuatan sebesar 19-20% (Tam et al., 2006).

Dengan mencampurkan GGBFS pada campuran beton, akan mengurangi berat isi beton dikarenakan berat jenis GGBFS lebih rendah dibandingkan berat jenis semen, sehingga GGBFS dapat mengisi ruang lebih banyak dibandingkan semen pada jumlah berat yang sama (Momeen et al., 2023).

Proses perendaman menggunakan air laut akan menggunakan air laut buatan, dimana air yang digunakan menggunakan air tawar yang dicampur dengan garam buatan untuk mendapatkan spesifikasi yang sesuai dengan kondisi air laut. Garam buatan yang digunakan pada penelitian kali ini adalah *blue treasure salt* yang merupakan garam yang biasa digunakan untuk membuat air tawar menjadi air laut yang dapat dihuni oleh biota laut. Proporsi campuran antara air tawar dengan garam buatan tersebut adalah setiap 19

Liter air tawar, membutuhkan 670 gram garam buatan untuk menjadikan air tersebut, serupa dengan air laut. Setelah mencampurkan air dengan garam buatan, dilakukan pemeriksaan berat jenis air sebesar 1025 menggunakan *salinity* meter untuk memastikan campuran air sudah sesuai dengan ASTM D1141.

Proses pemaparan beton menggunakan air laut akan terbagi menjadi tiga jenis. Spesimen akan dilakukan perendaman selama 24 jam per hari, lalu ada yang akan direndam selama 16 jam per hari dan dikeringkan selama 8 jam per hari, ada juga yang dilakukan perendaman selama 8 jam per hari dan dikeringkan selama 16 jam per hari, hingga hari ke-28. Proses pengeringan beton dilakukan pada suhu lingkungan, namun beton tidak terpapar langsung dengan matahari.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

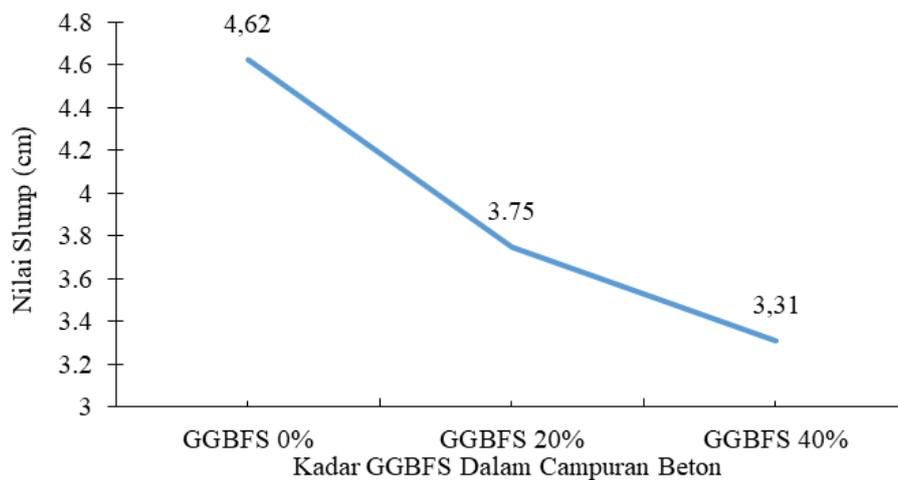
Penelitian kali ini, nilai slump yang ditetapkan sebesar 30 mm - 60 mm. Besaran tersebut diasumsikan

sebagai struktur untuk balok dan kolom menurut SNI 7656:2012. Perencanaan slump pada campuran beton dengan tambahan GGBFS, tetap menggunakan besaran slump yang sama, sehingga perlu dilakukan penyesuaian kadar GGBFS dan kadar air. Pada tahap awal penelitian, didapatkan nilai slump campuran beton pada tiap komposisi campuran beton, dengan nilai rata-rata slump Tabel 2.

Tabel 2. Nilai *slump* rata-rata

Kandungan GGBFS	Nilai <i>Slump</i> (cm)
GGBFS 0%	4.62
GGBFS 20%	3.75
GGBFS 40%	3.31

Dari hasil pengujian tersebut terbentuklah grafik pengaruh penambahan GGBFS dalam campuran beton terhadap nilai slump campuran beton seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Nilai *slump* rata-rata

Berdasarkan hasil pengujian slump yang telah dilakukan, melakukan penggantian kadar semen dengan menggunakan GGBFS akan mengurangi workability beton karena nilai slump mengalami penurunan nilai. Hal tersebut sesuai dengan review dari (Amran et al., 2021) mengenai dampak penggunaan GGBFS terhadap sifat beton. Dari hasil pengujian tersebut juga didapatkan nilai slump pada campuran beton sudah sesuai dengan perencanaan *mix design* sehingga campuran tersebut dapat dilanjutkan tahap pencetakan.

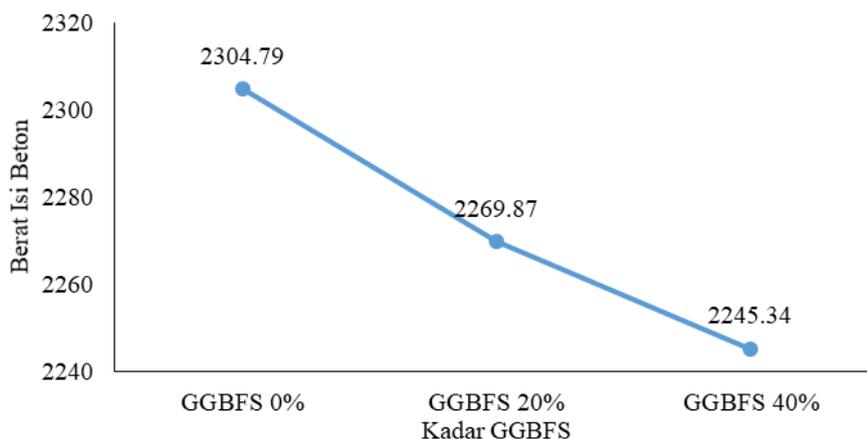
Setelah dilakukan pelepasan beton dari mould, beton akan dilakukan penimbangan massa untuk

mendapatkan berat isi beton. Tabel 3 merupakan hasil yang didapatkan dari pengujian berat isi beton.

Tabel 3. Berat isi beton

Kandungan GGBFS	Massa Rata-rata Spesimen	Berat Isi Beton (kg/m ³)
GGBFS 0%	12.21	2304.78
GGBFS 20%	12.03	2269.87
GGBFS 40%	11.90	2245.34

Didapatkan grafik pengaruh kadar GGBFS terhadap berat isi beton pada Gambar 2.



Gambar 2. Pengaruh GGBFS terhadap berat isi beton

Dari grafik hubungan kadar GGBFS sebagai pengganti semen dengan berat isi beton (Gambar 2), dapat ditarik kesimpulan bahwa, semakin besar kandungan GGBFS dalam campuran beton, maka semakin rendah massa dari beton yang dibuat. Hal ini disebabkan oleh adanya perbedaan berat jenis antara semen dengan GGBFS, dimana berat jenis semen lebih besar dibandingkan dengan GGBFS. Hal itu menunjukkan bahwa, dengan kadar berat yang sama, GGBFS akan lebih banyak mengisi ruang jika dibandingkan dengan semen, sehingga dengan menambahkan GGBFS, akan mengurangi berat beton tersebut.

Pengujian tekan pada penelitian kali ini bertujuan untuk mengetahui dampak paparan air laut dan siklus kering basah terhadap kuat tekan beton. Pengujian kuat tekan beton dilakukan menggunakan *compression testing machine* (CTM), sehingga didapatkan kuat tekan ultimate dari spesimen yang telah dibuat. Dari nilai beban maksimum yang didapat dan dilakukan perhitungan, sehingga didapatkan nilai kuat tekan beton sebagai berikut yang ditunjukkan pada Tabel 4 dan Gambar 3.

Tabel 4. Kuat tekan beton

No	Keterangan		Kuat Tekan (MPa)			Rata- Rata (MPa)
	GGBFS	Curing	1	2	3	
1		Normal	28.59	29.44	29.15	29.06
2	0%	24h Air Laut	27.45	27.74	27.74	27.64
3		16h Air Laut	25.47	25.76	26.04	25.76
4		8h Air Laut	24.06	23.77	24.62	24.15
5		Normal	32.83	31.70	31.98	32.17
6	20%	24h Air Laut	31.13	30.85	30.85	30.95
7		16h Air Laut	27.45	27.74	27.45	27.55
8		8h Air Laut	24.91	25.47	25.76	25.38
9		Normal	26.89	26.61	27.45	26.98
10	40%	24h Air Laut	25.76	25.19	25.76	25.57
11		16h Air Laut	25.47	25.19	25.76	25.47
12		8h Air Laut	23.49	22.93	22.64	23.02

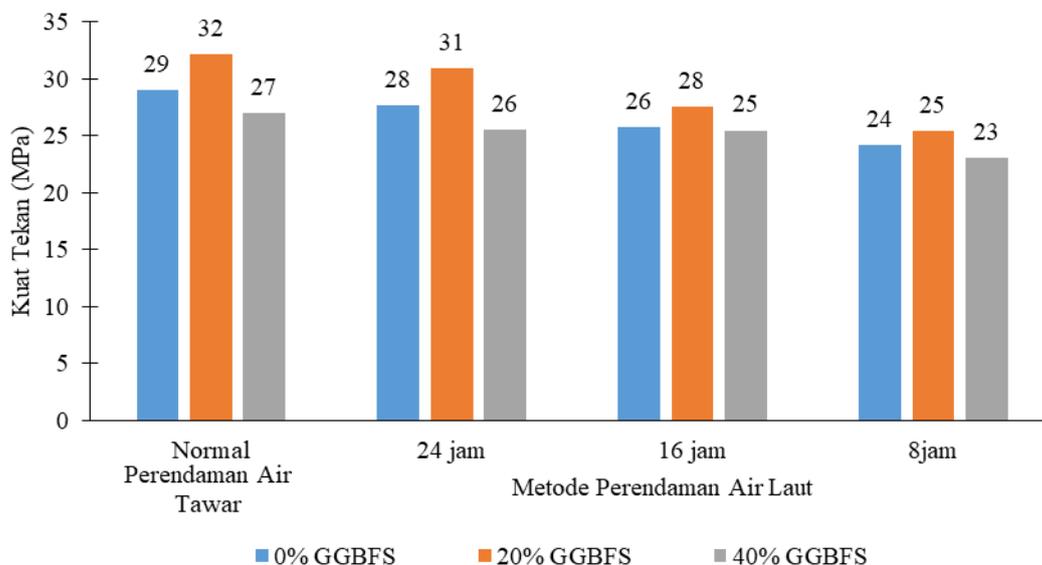
Berdasarkan Tabel 4, didapatkan beton normal memiliki kuat tekan sebesar 29.06 MPa. Dengan memaparkannya dengan air laut, beton akan mengalami penurunan performa menjadi 27.64 MPa. Dari tabel tersebut juga didapatkan beton yang

dilakukan siklus kering basah menggunakan air laut akan mengalami penurunan yang cukup drastis, dimana dengan perendaman 16 jam per hari mendapatkan kuat tekan 25.76 MPa, dan dengan perendaman 8 jam perhari sebesar 24.15 MPa. Dari

siklus kering basah tersebut didapatkan kuat tekan beton akan mengalami penurunan lebih besar ketika mengalami siklus kering yang lebih panjang.

Berdasarkan Tabel 4 juga didapatkan bahwa penggunaan GGBFS sebanyak 20 % pada penelitian ini akan meningkatkan performa beton menjadi 32.17 MPa, dan dengan memaparkannya dengan air laut,

beton tersebut masih memiliki kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan beton normal. Namun bila dilakukan metode siklus kering basah menggunakan air laut, beton tetap mengalami penurunan performa bila dibandingkan dengan beton normal. Sedangkan apabila kadar GGBFS ditingkatkan hingga 40 %, Beton akan mengalami penurunan performa jika di bandingkan dengan beton normal.



Gambar 3. Kuat tekan beton

Pada Gambar 3 mengenai grafik kuat tekan beton, dimana batang berwarna biru menunjukkan campuran beton tanpa campuran GGBFS, memiliki kuat tekan yang lebih rendah dari beton dengan kadar campuran GGBFS sebesar 20 % yang ditunjukkan pada grafik berwarna orange namun masih lebih tinggi dibandingkan dengan beton dengan kadar GGBFS 40 % yang ditunjukkan oleh grafik berwarna abu-abu pada setiap skema perendaman. Metode perendaman normal dilakukan dengan menggunakan air tawar, sedangkan 24 jam menunjukkan perendaman menggunakan air laut selama 24 jam, sedangkan untuk siklus kering basah dengan waktu 16 jam menunjukkan beton akan direndam selama 16 jam menggunakan air laut, dan 8 jam menunjukkan beton mengalami siklus perendaman selama 8 jam dan mengalami siklus keringnya selama 16 jam.

Kuat tekan pada beton tanpa GGBFS mengalami penurunan kuat tekan ketika dilakukan pemaparan air laut selama 24 jam, dan kuat tekan beton semakin memburuk ketika mengalami pemaparan siklus kering basah, dimana siklus perendaman air laut selama 8 jam dan siklus pengeringan 16 jam memiliki kuat tekan yang paling rendah. Hal serupa juga terjadi pada beton dengan kadar GGBFS 20% maupun 40% dimana beton dengan durasi perendaman 8 jam memiliki kuat tekan

terendah, sedangkan perendaman menggunakan air tawar memiliki kuat tekan tertinggi.

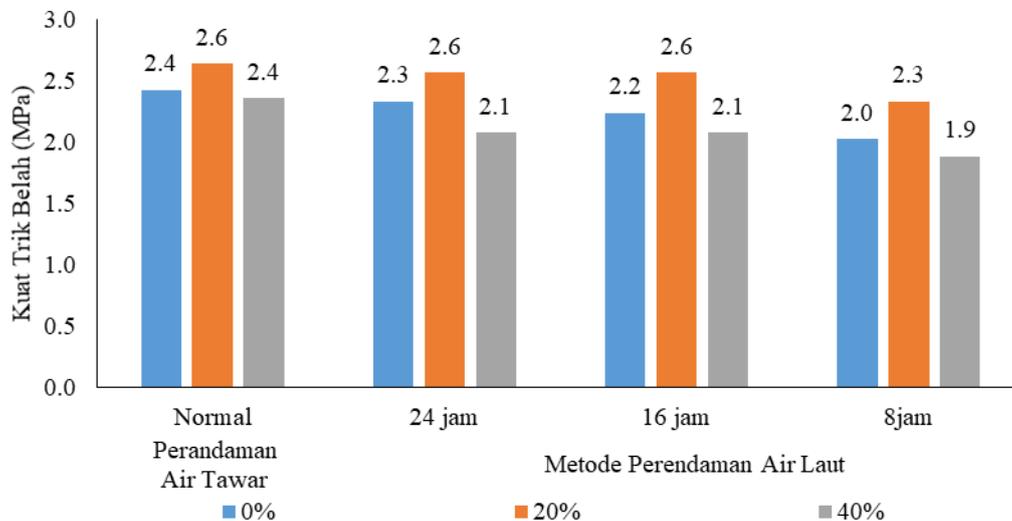
Selain pengujian kuat tekan beton, spesimen juga diuji dengan pengujian kuat tarik secara tidak langsung, dimana pengujian yang dilakukan adalah pengujian kuat tarik belah atau brazilian test. Spesimen yang digunakan pada pengujian kuat tarik belah beton memiliki komposisi yang sama dengan beton yang diuji kuat tekan. Jenis beton yang digunakan ada 3 macam, dimana terdapat beton normal tanpa menggunakan GGBFS sebagai material penggan ti semen, beton dengan kandungan GGBFS 20%, dan beton dengan kandungan GGBFS 40%. Perlakuan yang diberikan pada spesimen yang akan dilakukan pengujian kuat tarik belah terbagi menjadi 4 macam. Pertama, dengan metode perendaman normal menggunakan air tawar, perendaman dengan air laut selama 24 jam, perendaman air laut dengan siklus kering basah selama 16 jam/hari, dan perendaman menggunakan air laut selama 8 jam/hari. Pengujian kuat tarik belah dilakukan menggunakan mesin CTM untuk mendapatkan beban maksimumnya. Dari nilai pembebanan maksimum yang didapat pada pengujian tersebut, dapat dilakukan pengolahan data menggunakan rumus (2) sehingga didapatkan nilai kuat tarik belah beton pada Tabel 5 dan Gambar 4.

Tabel 5. Kuat tarik belah beton

No	Keterangan		Kuat Tarik Belah (MPa)			Rata- rata (MPa)
	GGBFS	Curing	1	2	3	
1		Normal	2.4	2.3	2.5	2.43
2	0%	24h Air Laut	2.3	2.3	2.4	2.34
3		16h Air Laut	2.2	2.2	2.3	2.24
4		8h Air Laut	2.1	2.0	2.1	2.03
5		Normal	2.6	2.8	2.5	2.64
6	20%	24h Air Laut	2.5	2.6	2.5	2.57
7		16h Air Laut	2.5	2.5	2.6	2.57
8		8h Air Laut	2.3	2.3	2.4	2.34
9		Normal	2.3	2.5	2.3	2.36
10	40%	24h Air Laut	2.0	2.1	2.2	2.08
11		16h Air Laut	2.1	2.0	2.1	2.08
12		8h Air Laut	1.9	1.8	1.9	1.89

Dengan membandingkan kuat tekan dengan kuat tarik belah yang telah dilakukan, rentang perbedaan antara kuat tarik belah dengan kuat tekan beton berada pada 8 % - 9 %. Sehingga hubungan kuat tekan dengan kuat tarik belah yang terjadi pada benda uji sesuai dengan rentang yang umumnya terjadi pada beton,

yang berada pada rentang 7 % - 11 %. Dari pengujian kuat tarik belah, didapatkan grafik dampak paparan air laut dengan siklus kering basah serta dampak penggunaan GGBFS sebagai material pengganti semen.

**Gambar 4.** Kuat tarik belah beton

Berdasarkan Gambar 4 mengenai grafik tarik belah beton tersebut, didapatkan kesimpulan dimana beton tanpa GGBFS pada grafik berwarna biru memiliki kuat tarik belah yang sama dengan beton dengan tambahan GGBFS sebanyak 40% dengan grafik berwarna abu-abu pada perendaman menggunakan air tawar. Sedangkan grafik berwarna orange merupakan indikator kuat tarik belah beton dengan tambahan GGBFS 20% memiliki kuat tarik belah yang lebih tinggi dibandingkan beton lain. Beton tanpa tambahan GGBFS mengalami penurunan

performa ketika diberikan paparan air laut, dan semakin melemah ketika dilakukan siklus kering basah, dan nilai kuat tekan terendahnya terjadi ketika beton direndam menggunakan air laut selama 8 jam dan dikeringkan selama 16 jam setiap harinya. Sedangkan pada beton dengan tambahan GGBFS 20% mengalami sedikit penurunan ketika direndam menggunakan air laut selama 24 jam. Namun berbeda dengan beton tanpa campuran GGBFS, beton dengan tambahan GGBFS 20% tidak mengalami penurunan ketika dilakukan siklus perendaman 16 jam, hal ini bisa

disebabkan oleh terperangkapnya air pada beton, dan tidak mengalami siklus kering yang sempurna karena memiliki permeabilitas yang lebih rendah dibanding beton tanpa tambahan GGBFS (Sharmila, 2016). Namun Beton dengan kadar GGBFS 20% tetap mengalami penurunan pada tingkat paparan air laut selama 16 jam, hal tersebut dapat terjadi karena dengan durasi pengeringan selama 16 jam beton sudah mencapai titik keringnya. Sedangkan beton dengan tambahan GGBFS 40% tetap mengalami penurunan ketika dipaparkan dengan air laut, namun tidak mengalami penurunan jika dibandingkan dengan paparan siklus perendaman 16 jam dan siklus kering 8 jam. Namun ketika dipaparkan dengan air laut selama 8 jam dan pengeringan selama 16 jam, beton mengalami penurunan performa.

4 KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan di Laboratorium Struktur Institut Teknologi Sumatera, didapatkan kesimpulan bahwa, peningkatan polusi udara pada produksi semen dapat dikurangi dengan menggantikan sebagian semen dengan GGBFS sehingga dapat mengurangi polusi yang terjadi akibat dari produksi semen, tanpa mengurangi kualitas beton. Penggunaan GGBFS dapat meningkatkan kuat tekan, kuat tarik, ketahanan beton terhadap paparan air laut, dan paparan perubahan suhu secara berulang.

Adapun saran yang dapat dilakukan pada penelitian berikutnya, yakni dengan melakukan paparan air laut pada kondisi lingkungan yang sebenarnya, sehingga didapatkan hasil yang lebih akurat. Juga dengan menambahkan jumlah spesimen dengan durasi perawatan beton yang lebih lama. Sehingga dapat memberikan waktu hidrasi yang cukup, terhadap beton dengan campuran GGBFS.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, S., Kumar, A., & Kumar, K. (2020). Axial performance of GGBFS concrete filled steel tubes. *Structures*, 23, 539–550. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2019.12.005>
- Amran, M., Murali, G., Khalid, N. H. A., Fediuk, R., Ozbakkaloglu, T., Lee, Y. H., Haruna, S., & Lee, Y. Y. (2021). Slag uses in making an ecofriendly and sustainable concrete: A review. *Construction and Building Materials*, 272, 121942. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121942>
- Cahyani, R. A. T., Setyono, E., & Rusdianto, Y. (2020). Performa Beton Dengan Ground Granulated Blast Furnace Slag Terhadap Sulfate Attack. *Jurnal Rekayasa Sipil (JRS-Unand)*, 16(3), 185. <https://doi.org/10.25077/jrs.16.3.185-193.2020>
- Gong, J., Cao, J., & Wang, Y. (2016). Effects of sulfate attack and dry-wet circulation on creep of fly-ash slag concrete. *Construction and Building Materials*, 125, 12–20. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.08.023>
- Ince, R. (2017). The fracture mechanics formulas for split-tension strips. *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, 607. <https://doi.org/10.15632/jtam-pl.55.2.607>
- Indriyanto, L. A., Saputra, A., & Sulistyono, D. (2020). Pengaruh air laut pada masa perawatan terhadap infiltrasi ion klorida pada beton dengan penambahan fly ash 12.5%. *Jurnal Riset Rekayasa Sipil*, 3(2), 61. <https://doi.org/10.20961/jrrs.v3i2.40955>
- Jin, Q., & Chen, L. (2022). A Review of the Influence of Copper Slag on the Properties of Cement-Based Materials. *Materials*, 15(23), 8594. <https://doi.org/10.3390/ma15238594>
- Kim, H. G., Atta-ur-Rehman, Qudoos, A., & Ryou, J.-S. (2018). Self-healing performance of GGBFS based cementitious mortar with granulated activators exposed to a seawater environment. *Construction and Building Materials*, 188, 569–582. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.08.092>
- Li, K., Zeng, Q., Luo, M., & Pang, X. (2014). Effect of self-desiccation on the pore structure of paste and mortar incorporating 70% GGBS. *Construction and Building Materials*, 51, 329–337. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.10.063>
- Marí, A., Cladera, A., Bairán, J., Oller, E., & Ribas, C. (2014). Shear-flexural strength mechanical model for the design and assessment of reinforced concrete beams subjected to point or distributed loads. *Frontiers of Structural and Civil Engineering*, 8(4), 337–353. <https://doi.org/10.1007/s11709-014-0081-0>
- Mohan, A., & Mini, K. M. (2018). Strength and durability studies of SCC incorporating silica fume and ultra fine GGBS. *Construction and Building Materials*, 171, 919–928. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.186>
- Momeen Ul Islam, M., Li, J., Roychand, R., & Saberian, M. (2023). Microstructure, thermal conductivity and carbonation resistance properties of sustainable structural lightweight concrete incorporating 100% coarser rubber particles. *Construction and Building Materials*, 408, 133658. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.133658>
- Nishanth, L., & Patil, Dr. N. N. (2022). Experimental evaluation on workability and strength characteristics of self-consolidating geopolymer concrete based on GGBFS, flyash and alccofine. *Materials Today: Proceedings*, 59, 51–57. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.10.200>
- Nurokhman, N. (2020). Fiber gelas ex limbah porselen sebagai bahan tambah pada beton normal. *CivETech*, 15(1), 50–57. <https://doi.org/10.47200/civetech.v15i1.716>
- Prayogo, L. M. (2021). Analisis kenaikan muka air laut di perairan kaliangnet kabupaten sumenep tahun 2000-2020. *Juvenil: Jurnal Ilmiah Kelautan Dan Perikanan*, 2(1), 61–68. <https://doi.org/10.21107/juvenil.v2i1.10035>
- Sakr, M. R., & Bassuoni, M. T. (2021). Performance of concrete under accelerated physical salt attack and carbonation. *Cement and Concrete Research*, 141, 106324. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2020.106324>
- Sharmila, P., & Dhinakaran, G. (2016). Compressive strength, porosity and sorptivity of ultra fine slag based high strength concrete. *Construction and Building Materials*, 120, 48–53. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.05.090>
- Shi, J., Sun, S., Cao, X., & Wang, H. (2023). Pullout behaviors of basalt fiber-reinforced polymer bars with mechanical anchorages for concrete structures exposed to seawater. *Construction and Building Materials*, 373, 130866. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.130866>
- Teng, S., Lim, T. Y. D., & Sabet Divsholi, B. (2013). Durability and mechanical properties of high strength concrete incorporating ultra fine Ground Granulated Blast-furnace Slag. *Construction and Building Materials*, 40, 875–881. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.11.052>

- Topçu, İ. B. (2013). High-volume ground granulated blast furnace slag (GGBFS) concrete. In *Eco-Efficient Concrete* (pp. 218–240). Elsevier. <https://doi.org/10.1533/9780857098993.2.218>
- Wang, M., Xie, Y., Long, G., Ma, C., & Zeng, X. (2019). Microhardness characteristics of high-strength cement paste and interfacial transition zone at different curing regimes. *Construction and Building Materials*, 221, 151–162. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.06.084>
- Wang, Y., Song, Y., Xue, J., Sun, X., & Xue, R. (2023). Effects of incorporating polynary SCMs on sulfate resistance and chloride impermeability of concrete considering capillary action in dry-wet cycling environment. *Construction and Building Materials*, 395, 132262. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.132262>
- Xin, J., Zhang, G., Liu, Y., Wang, Z., Yang, N., Wang, Y., Mou, R., Qiao, Y., Wang, J., & Wu, Z. (2020). Environmental impact and thermal cracking resistance of low heat cement (LHC) and moderate heat cement (MHC) concrete at early ages. *Journal of Building Engineering*, 32, 101668. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101668>
- Yang, K.-H., Lee, Y., & Mun, J.-H. (2019). A Stress-Strain Model for Unconfined Concrete in Compression considering the Size Effect. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2019, 1–13. <https://doi.org/10.1155/2019/2498916>
- Zheng, X., Ji, T., Easa, S. M., & Ye, Y. (2018). Evaluating feasibility of using sea water curing for green artificial reef concrete. *Construction and Building Materials*, 187, 545–552. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.07.140>