

Efek Curing Air Laut Terhadap Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi Yang Menggunakan Fly Ash Sebagai Substitusi Pasir

Azhari Zahlim¹, Erniati Bachtiar^{2*}, Ritnawati Makbul²

¹Mahasiswa Magister Rekayasa Infrastruktur dan Lingkungan, Universitas Fajar

²Dosen Magister Rekayasa Infrastruktur dan Lingkungan, Universitas Fajar

*e-mail: erni@unifa.ac.id

Received 30 May 2021; Reviewed 23 November 2021; Accepted 04 April 2022

Journal Homepage: <http://jurnal.borneo.ac.id/index.php/borneoengineering>

Doi: <https://doi.org/10.35334/be.v1i1.2161>

Abstract

Fly ash waste accumulates from year to year at PLTU in South Sulawesi. The potential of fly ash as an environmentally friendly material to be used as a cement substitute is significant, either partially or entirely. This research aims to analyze the correlation between fly ash substitution as sand substitution and the compressive strength of high-strength concrete treated in seawater and freshwater. Researchers made samples of high-strength concrete with variations in the percentage of fly ash and variations in treatment. Variations in the percentage of fly ash as substitution of sand are 0%, 10%, 20%, and 30%, and variations in curing using fresh water and seawater. Sample treatment was carried out for up to 28 days, after which the compressive strength test according to the Indonesian National Standard (SNI) was carried out. The study results show that the relationship between fly ash substitution and a sand substitution on the compressive strength has a significant correlation. The higher the percentage of fly ash, the higher the compressive strength of the concrete, both fresh and seawater curing. Besides that, the compressive strength of high-strength concrete with freshwater curing treatment is greater than the seawater curing treatment.

Keywords: high-strength concrete, compressive strength, fly Ash, Sand, Curing, Freshwater, Seawater

Abstrak

Limbah fly ash menumpuk dari tahun ke tahun di PLTU di Sulawesi Selatan. Potensi fly ash sebagai material ramah lingkungan untuk dijadikan pengganti semen cukup besar baik sebagian maupun seluruhnya. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis hubungan substitusi fly ash sebagai substitusi pasir terhadap kuat tekan beton mutu tinggi yang dirawat pada air laut dan air tawar. Penelitian ini membuat sampel beton mutu tinggi dengan variasi persentase fly ash dan variasi curing/perawatan. Variasi persentase fly ash sebagai substitusi pasir yakni 0%, 10%, 20%, dan 30% serta variasi curing yakni menggunakan air tawar dan air laut. Perawatan sampel dilakukan sampai 28 hari, setelah itu dilakukan uji kuat tekan sesuai standar nasional indonesia (SNI). Dari hasil penelitian bahwa hubungan substitusi fly ash sebagai substitusi pasir terhadap kuat tekan memiliki korelasi yang signifikan, semakin tinggi persentase fly ash maka semakin tinggi kuat tekan pada beton baik yang curing air tawar maupun air laut. Disamping itu kuat tekan beton mutu tinggi yang menggunakan substitusi fly ash sebagai substitusi pasir dengan perlakuan curing air tawar lebih besar dibandingkan perlakuan curing air laut.

Kata kunci: Beton Mutu Tinggi, Kuat Tekan, fly Ash, Pasir, Curing, Air Tawar, Air Laut

1. Pendahuluan

Sebagian besar permukaan bumi terdiri dari wilayah lautan yang kaya akan sumber daya alam untuk memenuhi kebutuhan manusia. Dari sumber makanan seperti ikan dan tumbuhan laut, sumber energi seperti minyak dan pembangkit listrik, kapal sebagai kendaraan dan tempat wisata. Semua ini memungkinkan orang untuk memanfaatkannya. Untuk itu banyaknya sarana dan prasarana yang dibutuhkan di wilayah laut untuk memenuhi kebutuhan manusia. Prasarana yang paling sering yang paling penting adalah Pelabuhan dan jembatan. Pembangunan inilah yang banyak menggunakan material beton. Bangunan yang menggunakan material beton yang berada di lingkungan agresif diupayakan dengan menggunakan beton yang berkinerja tinggi.

Wilayah laut merupakan salah satu lingkungan agresif. Salah satu masalah yang paling sering terjadi adalah pembangunan di daerah yang ekstrim, seperti lingkungan yang langsung terpapar air laut. Air laut, air yang membentuk samudra dan lautan, menutupi lebih dari 70 persen permukaan bumi. Air laut adalah campuran kompleks dari 96,5 persen air, 2,5 persen garam, dan sejumlah kecil zat lain, termasuk bahan anorganik dan organik terlarut, partikulat, dan beberapa gas atmosfer (Duxbury, Byrne and Mackenzie, 2020). Enam ion air laut yang paling melimpah adalah klorida (Cl^-), natrium (Na^+), sulfat (SO_4^{2-}), magnesium (Mg^{2+}), kalsium (Ca^{2+}), dan kalium (K^+). Berdasarkan beratnya, ion-ion ini membentuk sekitar 99 persen dari semua garam laut (Duxbury, Byrne and Mackenzie, 2020).

Kekuatan bangunan yang berada di lingkungan laut akan berkurang karena adanya beban pada struktur di lingkungan dan akibat lingkungan agresif yang memiliki ion klorida yang terkandung dalam air laut yang masuk ke dalam beton (Sultan and Djamaluddin, 2017). Air laut sendiri memiliki kandungan garam yang tinggi yang dapat mempengaruhi kekuatan dan keawetan beton. Hal ini disebabkan kandungan klorida dalam air laut, yang memiliki efek agresif terhadap beton. Pembuatan campuran beton menggunakan air tawar namun pada saat pengecoran bangunan pada lingkungan agresif maka tidak bisa dihindari akan masuknya air laut pada campuran beton. Pengecoran pada proyek pembangunan terletak pada lingkungan agresif seperti tepi/atas/pada laut maka pada saat penuangan campuran dalam bekisting tidak bisa dihindari akan masuknya air laut sebelum beton mengeras. Penelitian sebelumnya (Sultan and Djamaluddin, 2017) bahwa peran klorida dalam semen memiliki sejarah yang beragam, di satu sisi, klorida telah lama digunakan untuk mempercepat hidrasi semen dan penguatan kekuatan sedangkan di sisi lain, klorida menghilangkan baja tertanam dari perlindungan korosi yang biasanya dikembangkan di lingkungan semen bebas klorida.

Permasalahan tentang beton yang korosi akibat kandungan klorida pada air laut, maka perlu bahan additive pada campuran beton untuk meminimalisir masuknya klorida ke dalam beton agar tulangan pada beton aman. Fly ash dapat menghambat klorida masuk beton. Sebagaimana penelitian sebelumnya bahwa penambahan fly ash sangat mengurangi pengendapan ion klorida dan koefisien difusi ion klorida sangat menurun dengan meningkatnya penggantian fly ash, serta fly ash menguntungkan pengikatan klorida dalam beton (Liu *et al.*, 2020).

Fly ash hasil pembakaran dari batu bara juga memicu permasalahan lingkungan karena dapat mencemari udara dan tanah. Fly ash terutama dihasilkan dari limbah pembangkit listrik tenaga batu bara. Sehubungan dengan semakin banyaknya pembangkit listrik tenaga batu bara di Indonesia maka jumlah limbah fly ash juga akan semakin meningkat. Terdapat beberapa PLTU di Provinsi Sulawesi Selatan menggunakan batu-bara sebagai bahan energi, yaitu PLTU Bosowa Energi, PLTU PT. Semen Tonasa, PLTU Barru. Ketiga PLTU tersebut otomatis menghasilkan limbah fly ash setiap tahunnya. Pembakaran batubara menghasilkan sekitar 5% polutan padat berupa abu (fly ash dan slag), sekitar 10-20% merupakan slag dan sekitar 80-90% merupakan fly ash dari total produksi (Desianti, Rahmania and Zelviani, 2018).

Pada penelitian sebelumnya telah melakukan uji X-ray fluorescence (XRF) pada fly ash PLTU PT. Bosowa Energi dan menunjukkan bahwa empat komposisi kimia fly ash tertinggi adalah silikat (SiO_2), aluminium (Al_2O_3), besi (Fe_2O_3) dan kapur (CaO) (Bachtiar *et al.*, 2018, 2020; Bachtiar, 2021). Fly ash PLTU Energi Bosowa dan PLTU Jenepono merupakan jenis kelas C dengan kandungan CaO sebesar 23,52% ini berdasarkan ASTM C 618-96. Fly ash PLTU PT. Bosowa Energi memiliki sifat pozzolan sebagaimana ini disebabkan tingginya kandungan CaO pada fly ash.

Di beberapa negara dan merupakan salah satu solusi untuk mengurangi pencemaran lingkungan. Pemanfaatan fly ash merupakan salah satu cara untuk memanfaatkan limbah yang ada. Menambahkan fly ash pada beton pada struktur yang terkena air laut berfungsi sebagai penutup rongga beton dan dapat meningkatkan kekuatan beton karena fly ash dapat mengikat klorida. Penggunaan fly ash sebagai campuran beton merupakan sudah banyak digunakan sebagai material pengganti Sebagian atau semua semen dalam pembuatan beton. Penelitian penggunaan fly ash sebagai pengganti semen sudah banyak dilakukan, dan hasil penelitian bahwa fly ash dapat menaikkan kekuatan beton (Dinakar, Kartik Reddy and Sharma, 2013; Kabay *et al.*, 2015; Adibroto, Suhelmidawati and Zade, 2018; Kranthi Vijaya, Jagadeeswari and Srinivas, 2021), selain itu penelitian pemanfaatan fly ash sebagai agregat pada beton yang dapat menaikkan kekuatan dan durabilitas beton (T. Phani Madhavi, V.Sampathkumar and P.Gunasekaran, 2013; Nguyen and Duong, 2019; B, 2020). Penggunaan material fly ash merupakan upaya untuk meningkatkan kualitas beton dan mengurangi biaya produksinya dengan cara mengurangi jumlah semen yang digunakan.

Dengan memanfaatkan fly ash dalam beton mutu tinggi dapat mengurangi pencemaran lingkungan serta diharapkan beton mutu tinggi yang memanfaatkan fly ash dapat memperbaiki kinerja dan durabilitas konstruksi beton yang berada di lingkungan agresif khususnya di laut. Disamping itu tidak adanya atau masih kurangnya penelitian tentang beton mutu tinggi yang memanfaatkan fly ash sebagai substitusi agregat halus. Padahal beton berkinerja tinggi yang dipadukan fly ash kemungkinan dapat digunakan untuk bangunan yang berada di lingkungan laut, sehingga diharapkan fly ash dapat digunakan sebagai pengganti agregat halus untuk konstruksi bangunan di laut. Penelitian ini bertujuan memaparkan tentang pengaruh air laut pada kuat tekan beton mutu tinggi yang menggunakan fly ash sebagai substitusi agregat halus. Penelitian ini meninjau nilai kuat tekan beton mutu tinggi pada umur 28 hari dengan variasi fly ash 0% -30%. Penelitian ini diharapkan berkontribusi sebagai pengetahuan dan referensi bahan dalam pembangunan konstruksi beton di laut.

2. Metode Penelitian

2.1 Jenis Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimen di laboratorium. Penelitian ini dilakukan di laboratorium Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Fajar. Adapun Langkah-langkah penelitian yakni

- 1) Menyiapkan alat dan bahan
- 2) Melakukan karakterisasi agregat halus dan agregat kasar.
- 3) Pembuatan sampel dan perawatan air laut dan air tawar
- 4) Pengujian kuat tekan pada sampel setelah berumur 28 hari.
- 5) Perhitungan dan rekapitulasi serta analisis dengan menggunakan microsoft excel.

Analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis deskriptif, yaitu analisis yang memberikan gambaran data yang diperoleh antara beton mutu tinggi yang menggunakan fly ash sebagai substitusi pasir yang dirawat dengan air laut dan air tawar.

2.2 Bahan

Bahan penelitian menggunakan bahan lokal sebagai material penyusun beton mutu tinggi. Adapun material penyusun beton yang digunakan adalah semen PCC (Portland Composite Cement), fly ash, air, pasir dan batu pecah serta admixture (viscocrete 3115 N). Hasil karakterisasi agregat baik agregat halus dan agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Karakterisasi Agregat Halus dan Agregat Kasar

No	Jenis pengujian	Agregat Halus (pasir)		Agregat Kasar (Batu Pecah)	
		Hasil Pengujian Agregat Halus	Interval (SNI) agregat Halus	Hasil Pengujian Agregat Halus	Interval (SNI) Agregat Kasar
1	Kadar Lumpur (%)	4,88	0,2 - 5	0,4	Maks 1
2	Kadar Air (%)	3,35	5-Mar	1,2	0,5-2
3	Berat Volume				
	a. Kondisi Lepas (kg/ltr)	1,70	1,4 - 1,9	1,67	1,6 - 1,9
	b. Kondisi Padat (kg/ltr)	1,75	1,4 - 1,9	1,69	1,6 - 1,9
4	Berat Jenis				
	a. Bj. Nyata	2,88	1,60 - 3,30	2,68	1,60 - 3,33
	b. Bj. Dasar Kering	2,30	1,60 - 3,31	2,49	1,60 - 3,34
	c. Bj. Kering Permukaan	2,50	1,60 - 3,32	2,56	1,60 - 3,35
	d. Absorpsi (%)	2,04	0,2 - 2	2,87	Maks 4
5	Modulus Kehalusan	3,00	2,3 - 3,1	6,62	6 - 7,1
6	Kadar Organik	No.2	<No.3	-	-
7	Keausan (%)			40	Maks 50

Tabel 1 memperlihatkan hasil pengujian karakterisasi agregat halus dan agregat kasar, dimana terlihat hasilnya memenuhi syarat berdasarkan standar nasional Indonesia. Dengan demikian material agregat halus dan agregat kasar memiliki kualitas yang baik sebagai material penyusun beton mutu tinggi. Kualitas agregat akan mempengaruhi kualitas beton.

2.3 Variabel Penelitian dan Jumlah Sampel

Pada penelitian ini menggunakan variabel persentase fly ash sebagai substitusi pasir yakni 0%, 10%, 20% dan 30%. Selain variabel persentase fly ash sebagai substitusi pasir, juga variabel perlakuan curing/perawatan jenis air. Jenis air yang digunakan yakni air tawar dan air laut. Benda uji berbentuk silinder berukuran 100 mm x 200 mm. Adapun jenis jumlah sampel dapat berdasarkan variabel penelitian dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3. Tabel 2 merupakan sampel benda uji yang dicuring pada air tawar, sedangkan Tabel 3 merupakan sampel benda uji yang dirawat pada air laut.

Tabel 2. Variabel dan Jumlah Benda Uji Curing air tawar

No	Nama Benda Uji	Durasi Curing Beton (hari)			Jumlah Benda Uji
		28	56	91	
1	BMT_AT_0%	3	3	3	9
2	BMT_AT_10%	3	3	3	9
3	BMT_AT_20%	3	3	3	9
4	BMT_AT_30%	3	3	3	9
Jumlah					36

Keterangan:

BMT_AT_0%: Beton mutu tinggi menggunakan fly ash 0% substitusi sebagai pasir, curing air tawar
 BMT_AT_10%: Beton mutu tinggi menggunakan fly ash 10% substitusi sebagai pasir, curing air tawar
 BMT_AT_20%: Beton mutu tinggi menggunakan fly ash 20% substitusi sebagai pasir, curing air tawar
 BMT_AT_30%: Beton mutu tinggi menggunakan fly ash 30% substitusi sebagai pasir, curing air tawar

Tabel 3. Variabel dan Jumlah Benda Uji Curing Air Laut

No	Nama Benda Uji	Durasi Curing Beton (hari)			Jumlah Benda Uji
		28	56	91	
1	BMT_AL_0%	3	3	3	9
2	BMT_AL_10%	3	3	3	9
3	BMT_AL_20%	3	3	3	9
4	BMT_AL_30%	3	3	3	9
Jumlah					36

Keterangan:

BMT_AT_0%: Beton mutu tinggi menggunakan fly ash 0% substitusi sebagai pasir, curing air tawar
 BMT_AT_10%: Beton mutu tinggi menggunakan fly ash 10% substitusi sebagai pasir, curing air tawar
 BMT_AT_20%: Beton mutu tinggi menggunakan fly ash 20% substitusi sebagai pasir, curing air tawar
 BMT_AT_30%: Beton mutu tinggi menggunakan fly ash 30% substitusi sebagai pasir, curing air tawar

2.3 Mix Design

Pada rancangan campuran beton ini menggunakan metode SNI. Perencanaan mutu beton pada penelitian ini yaitu f'_c 42 MPa. Pada penelitian ini pula menggunakan bahan tambah berupa Viscocrete 3115N. adapun komposisi dari setiap material yang digunakan pada 1 (satu) sampel silinder disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Komposisi material penyusun beton untuk tiap 1 sampel silinder

Material	Air	Semen	Pasir	Kerikil	Zat Adiktif
Jumlah (Kg)	0,4243	1,146	1,017	1,889	0,034

2.4 Pembuatan, Curing dan Pengujian Benda Uji

Pembuatan benda uji ini akan dilakukan proses pencampuran beton segar dan dilakukan berdasarkan hasil perhitungan dari perencanaan Mix Design. Proses pencampuran antara semen, agregat halus, agregat kasar dan air dan ditambahkan zat admixture/ viscocreate 3115 N. Campuran beton yang sudah homogen di masukkan dalam cetakan silinder. pelepasan benda uji dalam cetakan setelah umur 1 hari (24 jam). Selanjutnya benda uji tersebut di curing dalam bak air yang terisi air tawar dan bak air yang terisi air laut. Curing/perawatan beton selama 28 hari. Setelah umur 28 hari benda uji dikeluarkan dalam bak air, dan dibiarkan kering kurang lebih 1 hari dan kemudian dilakukan pengujian kuat tekan. Pengujian kuat tekan berdasarkan ASTM C39/C39M – 12a. Sebelum pengujian kuat tekan pada benda uji, maka benda uji tersebut diberikan lapisan permukaan diatas benda uji dengan belerang, tujuan dari proses ini agar permukaan benda uji simetris. Dari hasil uji kuat tekan akan diperoleh nilai beban maksimum (P) yakni kemampuan benda uji dalam menahan beban vertikal. Untuk menghitung nilai kuat tekan (f'_c) menggunakan Persamaan 1.

$$f'_c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Dimana f'_c = kuat tekan sampel beton (N), P = Beban maksimum dan A = Luas permukaan silinder (mm).

2.5 Analisis Data

Setelah pengujian kuat tekan benda uji dilakukan, semua data ukuran silinder dan beban maksimum dibuat dalam tabel, kemudian nilai kuat tekan dihitung menggunakan Persamaan 1. Hasil nilai kuat tekan dibuat rekapitulasi dan nilai rata-rata kuat tekan dari 3 (tiga) sampel tiap variasi sampel. Selanjutnya dibuat grafik hubungan variasi persentase dengan kuat tekan baik sampel beton curing

air tawar maupun beton curing air laut. Kemudian dibuat analisis dengan deskripsi hubungan grafik hubungan variasi persentase dengan kuat tekan beton.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi

Pada pengujian kuat tekan pada penelitian ini terbagi atas dua yaitu kuat tekan pada perendaman air tawar dan kuat tekan pada perendaman air laut. Hal ini di maksudkan sebagai benda uji kontrol. Benda uji berupa silinder yang dimensinya 10 cm x 20 cm dipasang pada alat UTM dengan posisi benda uji vertikal. Pembebanan dilakukan sampai benda uji tersebut retak atau benda uji tersebut tidak dapat lagi menahan beban yg diberikan, hal itu ditandai dengan jarum penunjuk pada alat UTM, jika jarum yang berwarna sudah turun maka pembebanan pada benda uji tersebut telah mencapai maksimumnya. Pada benda uji silinder perendaman air tawar dan air laut setelah perendaman 28 hari. Rekapitulasi hasil hitungan kuat tekan beton curing air tawar disajikan dalam Tabel 5, dan rekapitulasi hasil hitungan kuat tekan beton curing air laut disajikan dalam Tabel 6.

Tabel 5. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Curing Air Tawar

Nama Sampel	Berat (kg)	Beban (N)	Kuat Tekan (Mpa)	Kuat Tekan Rata-rata (Mpa)
BMT_AL_0%	3571	321000	40,85	41,62
	3736	329000	41,87	
	3557	331000	42,13	
BMT_AL_10%	3589	328000	41,75	41,75
	3795	325000	41,36	
	3859	331000	42,13	
BMT_AL_20%	3873	323000	41,11	42,42
	3885	345000	43,91	
	3950	332000	42,25	
BMT_AL_30%	3663	380000	48,36	42,85
	3695	320000	40,73	
	3860	310000	39,45	

Tabel 5 terlihat hasil pengujian kuat tekan curing air tawar dimana semakin tinggi substitusi fly ash sebagai pengganti pasir maka semakin tinggi kuat tekan. Ini berarti fly ash mengganti pasir dapat meningkatkan kuat tekan. Peningkatan kuat tekan beton curing air tawar yang menggunakan fly ash sebanyak 10%, 20% dan 30% sebagai substitusi pasir pada beton berturut turut sebesar 0,31%; 1,94%; dan 2,96% dari kuat tekan beton beton tanpa fly ash (0%) sebagai beton standar. Dengan demikian penelitian ini sesuai penelitian sebelumnya bahwa fly ash dapat menaikkan kekuatan beton (Dinakar, Kartik Reddy and Sharma, 2013; Kabay *et al.*, 2015; Adibroto, Suhelmidawati and Zade, 2018; Kranthi Vijaya, Jagadeeswari and Srinivas, 2021).

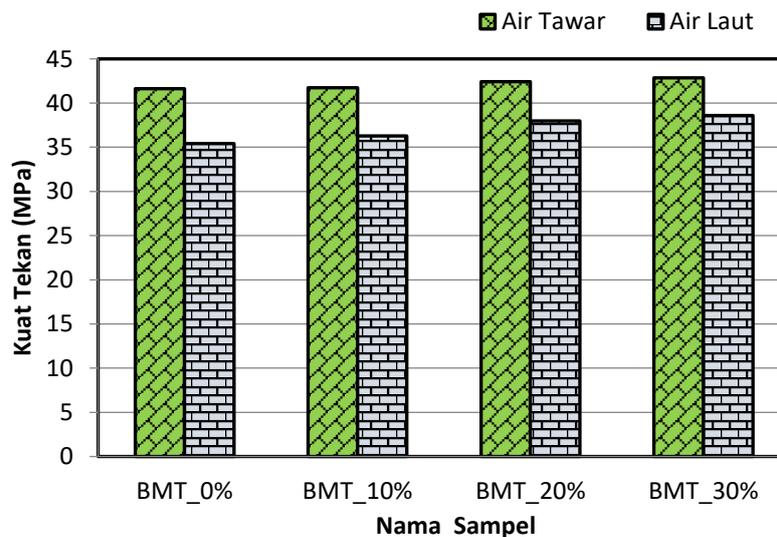
Tabel 6 terlihat hasil pengujian kuat tekan curing air laut dimana semakin tinggi substitusi fly ash sebagai pengganti pasir maka semakin tinggi kuat tekan. Ini berarti fly ash mengganti pasir dapat meningkatkan kuat tekan. Variasi fly ash pada beton curing air laut tidak menurunkan kuat tekan beton tapi sebaliknya terjadi peningkatan seiring dengan penambahan fly ash. Peningkatan kuat tekan yang menggunakan fly ash sebanyak 10%, 20% dan 30% sebagai substitusi pasir pada beton berturut turut sebesar 2,4%; 7,19%; dan 8,98% dari kuat tekan beton beton tanpa fly ash (0%) sebagai beton standar. Dengan demikian penelitian ini sesuai penelitian sebelumnya bahwa fly ash dapat menaikkan kekuatan beton (Dinakar, Kartik Reddy and Sharma, 2013; Kabay *et al.*, 2015; Adibroto, Suhelmidawati and Zade, 2018; Kranthi Vijaya, Jagadeeswari and Srinivas, 2021).

Tabel 6. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Curing Air Laut

Nama Sampel	Berat (kg)	Beban (N)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)
BMT_AL 0%	3571	265000	33,73	35,42
	3736	270000	34,36	
	3557	300000	38,18	
BMT_AL 10%	3589	275000	35,00	36,27
	3795	295000	37,55	
	3859	285000	36,27	
BMT_AL 20%	3873	300000	38,18	37,97
	3885	305000	38,82	
	3950	290000	36,91	
BMT_AL 30%	3663	310000	39,45	38,61
	3695	285000	36,27	
	3860	315000	40,09	

3.2 Perbandingan Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi Curing Air Tawar dan Curing Air Laut

Perbandingan Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi yang menggunakan fly ash sebagai substitusi pasir yang di curing Air Tawar dan Curing Air Laut dapat dilihat pada Gambar 1.



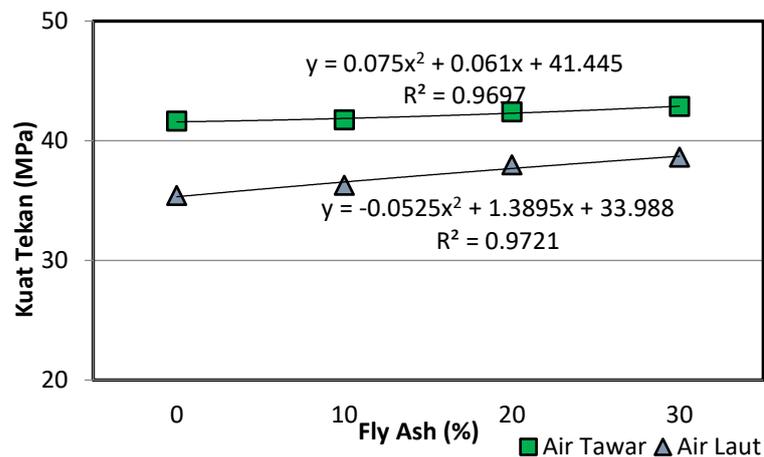
Gambar 1. Perbandingan antara beton mutu tinggi curing air tawar dan air laut

Semua variasi fly ash sebagai substitusi pasir pada beton mutu tinggi yang curing air tawar lebih tinggi dibandingkan dengan beton mutu tinggi yang curing air laut. Gambar 1 memperlihatkan diagram batang perbandingan beton mutu tinggi yang menggunakan fly ash sebagai substitusi pasir yang dirawat dengan air tawar dan air laut. Terlihat semua variasi penggunaan fly ash dan curing air laut terjadi penurunan kuat tekan beton daripada beton curing air tawar. Penurunan kuat tekan beton akibat curing air laut pada variasi 0%, 10%, 20% dan 30% berturut-turut sebesar 14,90%; 13,13%; 10,49%; dan 9,89% terhadap beton curing air tawar. Curing air laut kuat tekannya lebih rendah dibandingkan dengan kuat tekan curing air tawar, ini kemungkinan disebabkan karena adanya klorida telah masuk pada beton, sebagaimana penelitian oleh Sultan and Djameluddin, (2017) bahwa kekuatan bangunan

yang berada dilingkungan laut akan berkurang karena adanya beban pada struktur di lingkungan dan akibat lingkungan agresif yang memiliki ion klorida yang terkandung dalam air laut yang masuk kedalam beton. Air laut sendiri memiliki kandungan garam yang tinggi yang dapat mempengaruhi kekuatan dan keawetan beton. Hal ini disebabkan kandungan klorida dalam air laut, yang memiliki efek agresif terhadap beton. Untuk mengatasi hal tersebut perlu inovasi dengan memberikan zat tambahan dalam campuran seperti fly ash. Sebagaimana Jika dilihat penurunan kuat tekan akibat infiltrasi air laut bahwa persentase penurunan kuat tekan beton semakin kecil, ini berarti penambahan fly ash sangat mengurangi pengendapan ion klorida dan koefisien difusi ion klorida sangat menurun dengan meningkatnya penggantian fly ash, serta fly ash menguntungkan pengikatan klorida dalam beton (Liu *et al.*, 2020).

3.3 Hubungan Persentase Fly Ash dengan Kuat Tekan Beton

Hubungan persentase fly ash sebagai substitusi pasir pada beton dengan kuat tekan dapat dilihat pada Gambar 2. Hubungan persentase fly ash sebagai substitusi pasir dengan kuat tekan beton membentuk Persamaan Polynomial $y = 0.075x^2 + 0.061x + 41.445$ $R^2 = 0.9697$ (untuk beton curing air tawar) dan $y = -0.0525x^2 + 1.3895x + 33.988$ $R^2 = 0.9721$ (untuk beton curing air laut). Hubungan ini terjadi pada kedua beton curing air tawar dan beton curing air laut. Korelasi antara fly ash dengan kuat tekan memiliki korelasi yang kuat. Ini terlihat bahwa nilai determinasi R mendekati angka 1.



Gambar 2. Hubungan persentase fly ash sebagai substitusi pasir pada beton dengan kuat tekan

4. Kesimpulan

Efek curing air laut pada beton mutu tinggi yang menggunakan fly ash sebagai substitusi pasir menurunkan kuat tekan dibandingkan beton mutu tinggi curing air tawar. Semua variasi fly ash sebagai substitusi pasir pada beton mutu tinggi yang curing air tawar lebih tinggi dibandingkan dengan beton mutu tinggi yang curing air laut. Penurunan kuat tekan beton akibat curing air laut pada variasi 0%, 10%, 20% dan 30% berturut-turut sebesar 14,90%; 13,13%; 10,49%; dan 9,89% terhadap beton curing air tawar Namun demikian kedua variasi curing air tawar dan curing air laut, peningkatan kuat tekan pada beton seiring dengan bertambahnya persentase fly ash sebagai substitusi pasir. Peningkatan kuat tekan beton curing air tawar yang menggunakan fly ash sebanyak 10%, 20% dan 30% sebagai substitusi pasir pada beton berturut turut sebesar 0,31%; 1,94%; dan 2,96% dari kuat tekan beton tanpa fly ash (0%) sebagai beton standar. Peningkatan kuat tekan beton curing air laut yang menggunakan fly ash sebanyak 10%, 20% dan 30% sebagai substitusi pasir pada beton berturut turut

sebesar 2,4%; 7,19%; dan 8,98% dari kuat tekan beton beton tanpa fly ash (0%) sebagai beton standar. Potensi fly ash sebagai pengganti pasir sangat cocok untuk diberikan pada konstruksi beton di laut. Pasir Penelitian ini masih perlu dilanjutkan untuk variasi fly ash baik dari jenisnya maupun jumlahnya.

Daftar Pustaka

- Adibroto, F., Suhelmidawati, E. and Zade, A. A. M. (2018) 'Eksperimen Beton Mutu Tinggi Berbahan Fly Ash Sebagai Pengganti Sebagian Semen', *Jurnal Ilmiah Rekayasa Sipil*, 15(1), pp. 11–16. doi: 10.30630/jirs.15.1.85.
- B, R. (2020) 'Influence of fly ash on the properties of recycled coarse aggregate concrete', *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*, 8(5), pp. 2097–2100. doi: 10.30534/ijeter/2020/101852020.
- Bachtiar, E. *et al.* (2018) 'Potensi Limbah Fly Ash Batu Bara PLTU di Sulawesi Selatan sebagai Bahan Dasar Mortar Geopolimer', *Prosiding Seminar Hasil Penelitian (SNP2M)*, 2018(2), pp. 37–42.
- Bachtiar, E. *et al.* (2020) 'The Relationship of Temperature and Compressive Strength on Geopolymer Mortar using Fly Ash-Based', *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 885(1). doi: 10.1088/1757-899X/885/1/012019.
- Bachtiar, E. (2021) 'Characteristics of The Compressive Strength On C – Type Fly Ash Based Geopolymer Mortar', 22(March), pp. 298–303.
- Desianti, I., Rahmania, R. and Zelviani, S. (2018) 'Karakterisasi Nanosilika Dari Abu Terbang Menggunakan Metode Ultrasonic', *Jurnal Fisika dan Terapannya (JFT)*, 5(2).
- Dinakar, P., Kartik Reddy, M. and Sharma, M. (2013) 'Behaviour of self compacting concrete using Portland pozzolana cement with different levels of fly ash', *Materials & Design*, 46, pp. 609–616. doi: 10.1016/j.matdes.2012.11.015.
- Duxbury, A. C., Byrne, R. H. and Mackenzie, F. T. (2020) 'Seawater'. *Encyclopedia Britannica*, 5 Nov. 2020. Available at: <https://www.britannica.com/science/seawater> (Accessed: 20 October 2021).
- Kabay, N. *et al.* (2015) 'Properties of concrete with pumice powder and fly ash as cement replacement materials', *Construction and Building Materials*, 85, pp. 1–8. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2015.03.026.
- Kranthi Vijaya, S., Jagadeeswari, K. and Srinivas, K. (2021) 'Behaviour of M60 grade concrete by partial replacement of cement with fly ash, rice husk ash and silica fume', *Materials Today: Proceedings*, 37, pp. 2104–2108. doi: 10.1016/j.matpr.2020.07.523.
- Liu, Jun *et al.* (2020) 'Effect of fly ash as cement replacement on chloride diffusion, chloride binding capacity, and micro-properties of concrete in a water soaking environment', *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(18). doi: 10.3390/APP10186271.
- Nguyen, D. L. and Duong, M. T. (2019) 'Compressive Resistance of Environmental Concrete Using Fly Ash and Fine Aggregate for Replacing Traditional Sand', *Applied Mechanics and Materials*, 889, pp. 283–288. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.889.283.
- Sultan, M. A. and Djamaluddin, R. (2017) 'Pengaruh Rendaman Air Laut terhadap Kapasitas Rekat GFRP-Sheet pada Balok Beton Bertulang', *Jurnal Teknik Sipil*, 24(1), pp. 35–42. doi:

10.5614/jts.2017.24.1.5.

T. Phani Madhavi, V.Samathkumar and P.Gunasekaran (2013) 'Partial Replacement of Cement and Fine Aggregate by Using Fly Ash and Glass Aggregate', *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 02(13), pp. 351–355. doi: 10.15623/ijret.2013.0213066.