JICE – Journal of Infrastructure and Civil Engineering
Vol. 6, No. 3, (Nov, 2026),
Hal. 285-296

Diterima redaksi : 27 06 2025
Revisi akhir : 06 09 2026
Diterbitkan online : 09 11 2026

JICE
JOURNAL OF INFRASTRUCTURE AND CIVIL ENGINEERING
Web: http://jice.sttp-yds.ac.id/index.php/jice/index
ISSN: 2809-5030 (online) 2809-5227 (print)



Durabilitas Beton Campuran Abu Terbang (Blended Fly Ash) pada Lingkungan Gambut

Khadafi[1], Alex Kurniawandy[2]*, Muhammad Ikhsan[3]

[1,2,3]Jurusan Teknik Sipil, Kampus Bina Widya KM 2.5, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru

*alexkurniawandy@eng.unri.ac.id

Abstrak

Lingkungan gambut memiliki karakteristik kimia yang berpotensi memengaruhi durabilitas beton, khususnya pada konstruksi beton bertulang yang digunakan untuk infrastruktur pengendalian tata air. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh lingkungan air gambut terhadap kinerja mekanis dan laju korosi tulangan pada beton dengan substitusi parsial semen menggunakan fly ash. Penelitian dilakukan secara eksperimental terhadap tiga variasi campuran, yaitu PCC 100%–FA 0%, PCC 80%–FA 20%, dan PCC 60%–FA 40%. Benda uji berupa silinder digunakan untuk pengujian kuat tekan, kuat tarik belah, dan laju korosi tulangan. Pengujian dilakukan setelah beton mengalami perendaman dalam air normal dan air gambut pada umur 28, 56, dan 90 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa substitusi fly ash sebesar 20% menghasilkan kinerja mekanis terbaik dibandingkan variasi lainnya. Pada umur 90 hari dalam air normal, campuran PCC 80%–FA 20% menghasilkan kuat tekan sebesar 23,88 MPa dan kuat tarik belah sebesar 3,71 MPa, sedangkan pada air gambut masing-masing sebesar 20,95 MPa dan 3,35 MPa. Sebaliknya, substitusi fly ash sebesar 40% menghasilkan penurunan kinerja mekanis, dengan kuat tekan sebesar 15,56 MPa pada air normal dan 14,49 MPa pada air gambut pada umur 90 hari. Lingkungan air gambut juga menghasilkan laju korosi tulangan yang lebih tinggi dibandingkan air normal. Pada umur 90 hari, laju korosi campuran PCC 80%–FA 20% mencapai 0,052 mm/year pada air gambut, dibandingkan 0,037 mm/year pada air normal. Dengan demikian, substitusi fly ash sebesar 20% merupakan variasi paling optimal dalam penelitian ini, sedangkan penggunaan beton pada lingkungan gambut memerlukan perhatian terhadap penurunan kinerja mekanis dan peningkatan risiko korosi tulangan.

Kata Kunci: durabilitas, korosi, beton, abu terbang, air gambut

1. Pendahuluan

Lahan gambut merupakan ekosistem yang memiliki karakteristik lingkungan dan hidrologi yang berbeda dibandingkan lahan mineral. Pemanfaatan kawasan gambut untuk pembangunan infrastruktur, termasuk saluran drainase, sekat kanal, jalan, dan bangunan pengendalian tata air, memerlukan material konstruksi yang mampu mempertahankan kinerja

https://doi.org/10.35583/jice.v6i3.115

dalam kondisi lingkungan yang relatif agresif. Beton bertulang banyak digunakan karena memiliki kekuatan, ketersediaan material, dan kemudahan pelaksanaan yang baik. Namun, kinerja beton pada lingkungan agresif tidak hanya ditentukan oleh kekuatan awal, tetapi juga oleh kemampuannya mempertahankan sifat mekanis dan melindungi tulangan selama masa layan. Lingkungan yang mengandung senyawa agresif dapat memicu perubahan pada matriks semen, meningkatkan penetrasi zat terlarut, dan pada kondisi tertentu mempercepat proses korosi tulangan.

Lingkungan gambut memiliki karakteristik kimia yang perlu diperhatikan dalam kaitannya dengan durabilitas beton. Air gambut umumnya mengandung bahan organik terlarut dan senyawa humat yang berkaitan dengan kondisi keasaman lingkungan. Paparan beton terhadap air gambut secara kontinu dapat memengaruhi proses hidrasi dan kestabilan matriks semen. Penelitian eksperimental pada beton yang direndam langsung pada saluran air gambut menunjukkan bahwa beton berbasis OPC mengalami penurunan kuat tekan dan kuat tarik serta peningkatan porositas setelah paparan, sedangkan beton berbasis PCC dan campuran yang mengandung bahan pozzolanik menunjukkan perkembangan sifat mekanis dan penurunan porositas yang lebih baik selama periode paparan [1]. Temuan tersebut menunjukkan bahwa karakteristik binder merupakan salah satu faktor penting dalam menentukan ketahanan beton terhadap lingkungan gambut.

Kajian yang lebih spesifik mengenai underwater concrete memperlihatkan bahwa lingkungan air gambut dapat memberikan pengaruh terhadap kinerja beton. Ahkam et al. [2] mengevaluasi pengaruh penggunaan air gambut sebagai air pencampur dan air perawatan pada underwater concrete yang menggunakan anti-washout agent. Penelitian tersebut membandingkan kondisi air bersih–air bersih, air bersih–air gambut, dan air gambut–air gambut. Hasilnya menunjukkan bahwa variasi air bersih–air bersih menghasilkan nilai kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur tertinggi, sedangkan variasi air gambut–air gambut memberikan nilai terendah. Temuan tersebut menunjukkan bahwa paparan air gambut dapat memberikan pengaruh negatif terhadap sifat mekanis beton, khususnya ketika air gambut digunakan baik sebagai air pencampur maupun sebagai media perawatan. Mizam et al. [3] selanjutnya mengkaji pengaruh air gambut terhadap sifat fisik underwater concrete dengan penggunaan anti-washout agent dan self-compacting concrete. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa penggunaan bahan tambah dapat mempertahankan karakteristik beton segar pada pengecoran bawah air, sementara kondisi air yang digunakan memberikan pengaruh terhadap sifat fisik beton. Penelitian ini memperkuat bahwa karakteristik lingkungan air gambut perlu dipertimbangkan dalam perencanaan dan pelaksanaan beton yang diaplikasikan pada lingkungan perairan gambut.

Durabilitas beton pada lingkungan agresif berkaitan erat dengan struktur pori dan kemampuan matriks semen membatasi transportasi air serta ion agresif. Penggunaan supplementary cementitious materials (SCM), termasuk fly ash, merupakan salah satu pendekatan yang banyak dikaji untuk meningkatkan kinerja beton sekaligus mengurangi penggunaan semen Portland. Fly ash memiliki partikel halus dan komponen silika serta alumina reaktif yang dapat berkontribusi terhadap reaksi pozzolanik. Reaksi tersebut mengonsumsi sebagian kalsium hidroksida hasil hidrasi semen dan menghasilkan produk hidrasi tambahan yang dapat memperbaiki struktur mikro pasta semen. Penggunaan material pozzolanik juga dapat memberikan keuntungan terhadap durabilitas melalui pengurangan permeabilitas dan perbaikan karakteristik transportasi dalam matriks beton [4,5].

Meskipun demikian, peningkatan kadar fly ash tidak selalu menghasilkan peningkatan kinerja beton secara linier. Kadar substitusi yang tinggi dapat memperlambat perkembangan kekuatan pada umur awal karena laju reaksi pozzolanik fly ash relatif lebih lambat dibandingkan hidrasi semen Portland. Dengan bertambahnya umur, kontribusi reaksi pozzolanik dapat meningkatkan perkembangan kekuatan dan memperbaiki struktur pori beton. Oleh karena itu, kadar substitusi optimum sangat dipengaruhi oleh karakteristik fly ash, rasio air terhadap bahan pengikat, kondisi curing, umur beton, serta kondisi lingkungan paparan [6,7]. Studi mengenai beton dengan fly ash juga menunjukkan bahwa pengaruh

terhadap kekuatan dan durabilitas perlu dievaluasi secara bersamaan karena peningkatan ketahanan terhadap penetrasi zat agresif tidak selalu identik dengan peningkatan seluruh parameter mekanis.

Selain memberikan pengaruh terhadap matriks beton, penggunaan fly ash dapat berhubungan dengan perilaku korosi tulangan. Korosi tulangan merupakan salah satu mekanisme kerusakan utama pada beton bertulang karena produk korosi memiliki volume lebih besar daripada baja awal sehingga dapat menghasilkan tekanan internal, retak pada selimut beton, delaminasi, dan pada tahap lanjut mengurangi luas penampang tulangan. Penelitian Montemor et al. menunjukkan bahwa penggunaan fly ash dapat meningkatkan resistivitas beton, memperpanjang waktu inisiasi korosi, dan menurunkan laju korosi pada kondisi paparan tertentu [8]. Namun, efektivitas tersebut sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan dan karakteristik transportasi zat agresif. Penelitian jangka panjang pada beton fly ash di lingkungan laut menunjukkan bahwa peningkatan kandungan fly ash dapat meningkatkan ketahanan terhadap penetrasi klorida, meskipun respons terhadap inisiasi korosi dan karbonasi juga dipengaruhi oleh kadar substitusi serta kualitas curing [9].

Lingkungan yang mengandung sulfat dan ion agresif lainnya juga dapat menyebabkan perubahan pada matriks semen melalui mekanisme kimia dan fisik. Serangan sulfat dapat menghasilkan pembentukan produk sekunder yang berpotensi menyebabkan ekspansi, retak, dan kehilangan integritas beton. Penelitian mengenai beton fly ash pada lingkungan sulfat menunjukkan bahwa ketahanan terhadap serangan tersebut dapat ditingkatkan melalui pemilihan jenis fly ash, pengendalian rasio air-pengikat, dan proporsi bahan pengikat yang tepat [10]. Penelitian lain mengenai lingkungan kombinasi sulfat–klorida menunjukkan bahwa mekanisme penetrasi dan interaksi ion agresif sangat dipengaruhi oleh komposisi binder serta struktur pori beton [11]. Dengan demikian, kinerja beton yang mengandung fly ash tidak dapat digeneralisasi hanya berdasarkan persentase substitusi, tetapi perlu dikaji berdasarkan kondisi lingkungan aktual yang dihadapi struktur.

Dalam konteks lingkungan gambut, penelitian mengenai beton dengan bahan pozzolanik telah menunjukkan potensi peningkatan ketahanan terhadap paparan air gambut. Evaluasi beton blended dan high-volume fly ash–bottom ash pada air gambut menunjukkan bahwa penggunaan material berbasis abu dapat dikaji sebagai pendekatan untuk meningkatkan kinerja beton pada lingkungan organik-asam [12]. Namun, penelitian terdahulu mengenai beton pada lingkungan gambut masih lebih banyak berfokus pada perubahan kuat tekan, kuat tarik, porositas, sorptivitas, dan kehilangan massa. Kajian yang secara simultan menghubungkan substitusi fly ash, perkembangan kuat tekan, kuat tarik belah, serta laju korosi tulangan pada beton yang terpapar air gambut masih relatif terbatas. Padahal, untuk beton bertulang yang digunakan pada infrastruktur pengendalian tata air gambut, evaluasi durabilitas perlu mencakup tidak hanya kinerja matriks beton tetapi juga kondisi tulangan yang tertanam di dalamnya.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi kinerja mekanis dan perilaku korosi beton dengan substitusi parsial Portland Composite Cement (PCC) menggunakan fly ash pada lingkungan air normal dan air gambut. Variasi campuran yang digunakan adalah PCC 100%–FA 0%, PCC 80%–FA 20%, dan PCC 60%–FA 40%. Kinerja beton dievaluasi melalui pengujian kuat tekan, kuat tarik belah, dan laju korosi tulangan setelah paparan selama 28, 56, dan 90 hari. Pendekatan tersebut diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai pengaruh kadar fly ash terhadap perkembangan sifat mekanis sekaligus ketahanan tulangan pada lingkungan gambut. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar evaluasi penggunaan beton blended fly ash untuk konstruksi beton bertulang pada infrastruktur yang beroperasi di kawasan gambut.

2. Metodologi Penelitian

Metode yang dilaksanakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental untuk mendapatkan hasil ataupun data-data yang akan menegaskan hubungan antara variabel-

variabel yang diselidiki. Dalam penelitian ini eksperimen dilaksanakan di dalam laboratorium. Waktu penelitian dilakukan selama 6 bulan mulai dari tanggal 02 Januari 2025 sampai tanggal 02 Juni 2025 dan dilakukan di Laboratorium Bahan Bangunan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Riau .

Benda uji yang akan dibuat pada penelitian ini berjumlah 162 buah. Benda uji pada penelitian ini berbentuk silinder dengan diameter 10,5 cm dan tinggi 21 cm sebanyak 108 buah untuk pengujian tes kuat tekan dan tes korosi sedangkan untuk pengujian tes kuat tarik menggunakan benda uji berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm sebanyak 54 buah. Trial mix dilakukan untuk menentukan komposisi campuran beton yang tepat atau workability. Pengujian beton bertujuan untuk mengetahui durabilitas beton campuran abu terbang (*blended fly ash*) dalam kondisi normal (beton dicampur menggunakan air normal kemudian direndam menggunakan air normal) dan yang telah terpapar oleh air gambut (beton dicampur menggunakan air gambut kemudian direndam menggunakan air gambut). Pengujian beton ini mencakup pengujian kuat tekan beton, kuat tarik belah beton dan korosi tulangan pada beton. Pengujian dilakukan saat benda uji dalam kondisi kering pada saat umur beton 28, 56, dan 90 hari setelah direndam menggunakan di air normal dan air gambut.

3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini dilakukan pengujian beton yaitu uji kuat tekan beton, uji kuat tarik belah beton dan uji korosi besi di dalam beton.

3.1. Uji Kuat Tekan Beton

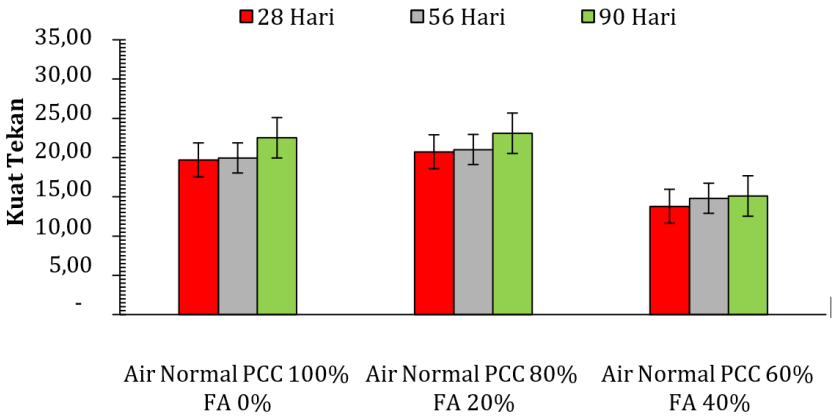
Sifat penting dalam konstruksi beton salah satunya kekuatan tekan beton itu sendiri, karena kekuatan beton hal yang perlu diperhatikan dalam desain beton struktural untuk mencapai konstruksi yang aman. Selain itu, beton juga bertujuan sebagai alat pengendali kualitas lapangan. Kuat tekan beton PCC substitusi abu terbang dengan mutu fc' 19,3 MPa setelah perendaman selama 90 hari di air normal dan di air gambut terlihat pada Tabel 1. Gambar 1 meperlihat proses pengujian kuat tekan beton yang dilakukan.

Tabel 1. Nilai kuat tekan beton menggunakan air normal

Variation	Kuat Tekan Beton (MPa)		
	28 Hari	56 Hari	90 Hari
Air Normal PCC 100% FA 0%	20,36	20,66	23,33
Air Normal PCC 80% FA 20%	21,47	21,77	23,88
Air Normal PCC 60% FA 40%	14,27	15,29	15,56



Gambar 1. Pengujian kuat tekan beton

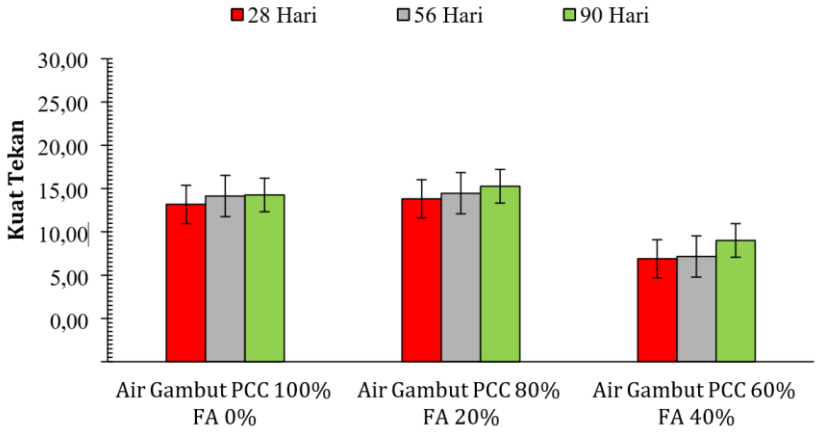


Gambar 2. Hasil uji kuat tekan beton pada air normal

Gambar 2 memperlihatkan hasil ujikuat tekan dengan komposisi benda uji PCC 100% FA 0% setelah perendaman menggunakan air normal pada umur 28 hari telah mencapai nilai kuat tekan sebesar 20,36 MPa kemudian benda uji mengalami peningkatan nilai kuat tekan beton sebesar 5,49 % menjadi 21,47 MPa setelah disubtitusi fly ash 20% dari volume PCC tetapi setelah disubtitusi fly ash sebesar 40% dari volume PCC nilai kuat tekan beton menurun sebesar 29,89% menjadi 14,27 Mpa dibandingkan dengan komposisi benda uji PCC 100%FA 0% menggunakan air normal pada umur perendaman umur 28 hari kemudian nilai kuat tekan beton terus bertambah hingga umur 90 hari. Hal ini disebabkan karena penambahan fly ash dapat meningkatkan mutu beton karena fly ash berperan sebagai bahan pozzolanic yang bereaksi dengan kalsium hidroksida ($Ca(OH)_2$) yang dihasilkan dari hidrasi semen, membentuk senyawa baru yang lebih padat tetapi penggunaan fly ash sebagai subtitusi semen terlalu banyak dapat menurunkan mutu beton karena semen sebagai bahan pengikat utama yang mengikat agregat (pasir dan kerikil) menjadi satu kesatuan yang kuat.

Tabel 2 Nilai kuat tekan beton menggunakan air gambut

Variation	Kuat Tekan Beton (MPa)		
	28 Hari	56 Hari	90 Hari
Air Gambut PCC 100% FA 0%	18,82	19,82	19,93
Air Gambut PCC 80% FA 20%	19,25	20,12	20,95
Air Gambut PCC 60% FA 40%	12,29	12,54	14,49



Gambar 3 Hasil uji kuat tekan beton pada air gambut

Pada Tabel 2 dapat dilihat nilai kuat tekan beton menggunakan air gambut. Komposisi

benda uji PCC 100% FA 0% setelah perendaman menggunakan air gambut pada umur 28 hari mencapai nilai kuat tekan sebesar 18,82 MPa. Nilai kuat tekan beton menggunakan air gambut mengalami penurun sebesar 7,56% bila dibandingkan dengan nilai kuat tekan beton dengan komposisi PCC 100% FA0% menggunakan air normal. Setelah disubtitusi fly ash sebesar 20% dari volume PCC menggunakan air gambut nilai kuat tekan beton umur 28 hari juga berkurang sebesar 10,34% menjadi 19,25 MPa bila dibandingkan dengan nilai kuat tekan beton campuran PCC 80% FA 20% menggunakan air normal setelah perendaman umur 28 hari. Nilai kuat tekan komposisi PCC 60% FA 40% menggunakan air gambut pada umur perendaman 28 hari juga mengalami penuruanan nilai kuat tekan sebesar 13,87% menjadi 12,29MPa bila dibandingkan dengan nilai kuat tekan beton campuran PCC 60% FA 40% menggunakan air normal pada perendaman umur 28 hari kemudian nilai kuat tekan beton menggunakan air gambut tetap terus bertambah sampai umur 90 hari.

Gambar 3 menunjukkan perbandingan hasil uji kuat tekan beton pada air gambut. Hasil pengujian nilai kuat tekan beton menggunakan air gambut lebih rendah dari pada nilai kuat tekan beton menggunakan air normal disebabkan karena kandungan senyawa organik di dalam air gambut dapat menghambat proses hidrasi semen, sehingga mengurangi kekuatan beton dan hal ini juga dikarenakan air gambut tidak memenuhi standar kualitas air yang dibutuhkan untuk campuran beton.

3.2. Uji Kuat Tarik Belah Beton

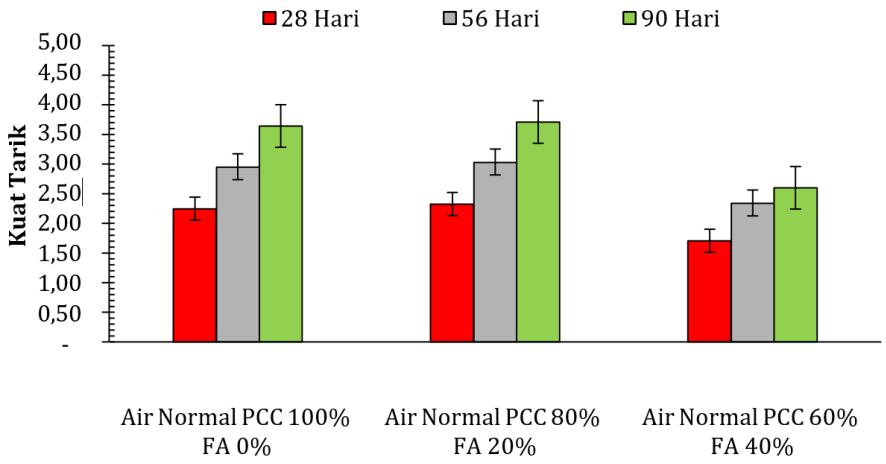
Hasil uji kuat tarik belah pada beton direndam air biasa dan beton direndam air gambut pada umur 28 hari, 56 hari, sampai umur 90 hari terlihat pada Tabel 3. Gambar 4 memperlihat saat berlangsung proses pengujian kuat tarik belah.

Tabel 3 Nilai kuat tarik beton menggunakan air normal

Variasi Benda Uji	Kuat Tarik (MPa)		
	28 Hari	56 Hari	90 Hari
Air Normal PCC 100% FA 0%	2,25	2,96	3,64
Air Normal PCC 80% FA 20%	2,33	3,04	3,71
Air Normal PCC 60% FA 40%	1,71	2,34	2,60



Gambar 4. Pengujian kuat tarik beton



Gambar 5. Hasil uji kuat tarik beton pada air normal

Pada Gambar 5 menunjukkan hasil uji kuat tarik beton pada air normal. Berdasarkan nilai kuat tekan pada dengan komposisi benda uji PCC 100% FA 0% menggunakan air normal pada umur perendaman benda uji 28 hari telah mencapai nilai kuat tarik beton sebesar 2,25 MPa kemudian benda uji mengalami peningkatan nilai kuat tarik beton sebesar 3,55% menjadi 2,33 MPa setelah disubtitusi fly ash 20% dari volume PCC pada umur 28 hari tetapi setelah disubtitusi fly ash sebesar 40% dari volume PCC nilai kuat tarik menurun sebesar 24% % menjadi 1,71 MPa dibandingkan dengan komposisi benda uji PCC 100% FA 0% umur 28 hari kemudian nilai kuat tarik terus bertambah hingga umur 90 hari. Hal ini disebabkan karena penambahan fly ash dapat meningkatkan mutu beton karena fly ash berperan sebagai bahan pozzolanic yang bereaksi dengan kalsium hidroksida (Ca(OH)2) yang dihasilkan dari hidrasi semen, membentuk senyawa baru yang lebih padat dan kuat namun penggunaan fly ash sebagai subtitusi semen terlalu banyak dapat menurunkan mutu beton karena semen sebagai bahan pengikat utama yang mengikat agregat (pasir dan kerikil) menjadi satu kesatuan yang kuat.

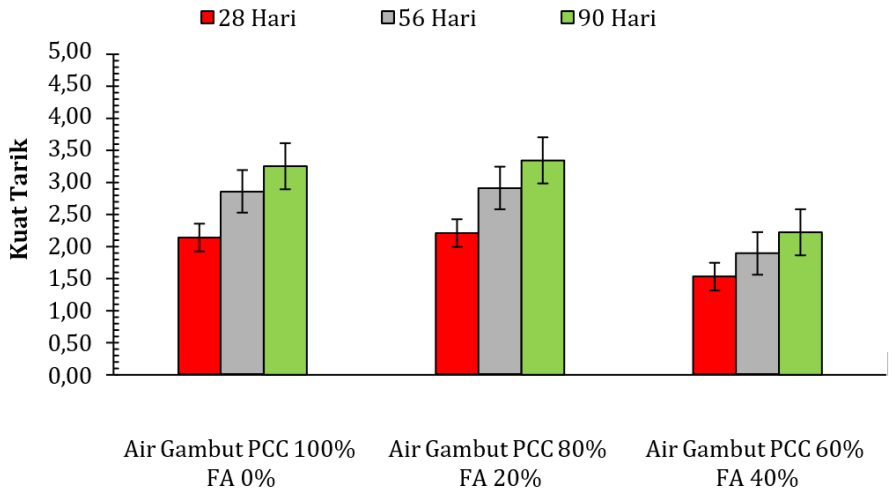
Tabel 4 menampilkan nilai hasil kuat tarik beton dengan menggunakan air gambut pada umur 28 hari, 56 hari dan 90 hari untuk seluruh variasi penambahan flyash pada campuran.

Tabel 4. Nilai kuat tarik beton menggunakan air gambut

Variasi Benda Uji	Kuat Tarik (MPa)		
	28 Hari	56 Hari	90 Hari
Air Gambut PCC 100% FA 0%	2,14	2,86	3,25
Air Gambut PCC 80% FA 20%	2,21	2,91	3,35
Air Gambut PCC 60% FA 40%	1,53	1,89	2,22

Gambar 6. Merupakan grafik hasil uji kuat tarik beton pada air gambut. Berdasarkan nilai kuat tarik dengan komposisi benda uji PCC 100% FA 0% menggunakan air gambut pada umur perendaman 28 hari mencapai nilai kuat tarik beton sebesar 2,14 MPa. Nilai kuat tarik beton menggunakan air gambut umur 28 hari mengalami penurun sebesar 4,88% bila dibandingkan dengan nilai kuat tarik beton dengan komposisi PCC 100% FA0% menggunakan air normal umur perendaman 28 hari. Setelah disubtitusi fly ash sebesar 20% dari volume PCC menggunakan air gambut nilai kuat tarik beton umur 28 hari juga berkurang sebesar 5,15% menjadi 2,21 MPa bila dibandingkan dengan nilai kuat tekan beton campuran PCC 80% FA 20% menggunakan air normal umur perendaman 28 hari. Nilai kuat tarik beton komposisi PCC 60% FA 40% menggunakan air gambut umur perendaman 28 hari juga mengalami penuruanan nilai kuat tarik beton sebesar 10,53% menjadi 1,53 MPa bila dibandingkan dengan nilai kuat tarik beton campuran PCC 60% FA 40% menggunakan air normal umur perendaman 28 hari

kemudian nilai kuat tarik beton menggunakan air normal dan air gambut tetap terus bertambah sampai umur 90 hari.



Gambar 6. Hasil uji kuat tarik beton pada air gambut

Hasil pengujian nilai kuat tarik beton menggunakan air gambut lebih rendah dari pada nilai kuat tekan beton menggunakan air normal disebabkan karena kandungan senyawa organik di dalam air gambut dapat menghambat proses hidrasi semen, sehingga mengurangi kekuatan beton dan hal ini juga dikarenakan air gambut tidak memenuhi standar kualitas air yang dibutuhkan untuk campuran beton.

3.3. Uji Korosi Besi Beton

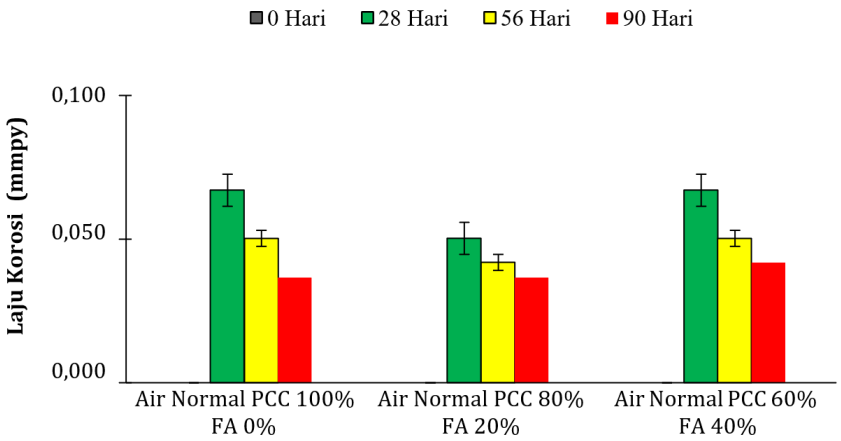
Pengujian laju korosi (Corrosion Rate) dilakukan pada umur beton 0 hari, 28 hari, 56 hari dan 90 hari menggunakan metoda kehilangan berat dengan cara mengukur kekurangan berat akibat korosi yang terjadi sehingga dapat dihitung nilai laju korosi. Metode ini membutuhkan jangka waktu yang lama hingga memperoleh jumlah berat yang hilang akibat korosi. Pengujian laju korosi dilakukan pada beton direndam kedalam air normal dan air gambut. Tabel 5 menunjukkan hasil uji laju korosi besi beton menggunakan air normal.

Tabel 5 Hasil uji laju korosi besi beton menggunakan air normal

Variasi Benda Uji	Laju Korosi (mmpy)			
	0 Hari	28 Hari	56 Hari	90 Hari
Air Normal PCC 100% FA 0%	0,000	0,067	0,050	0,037
Air Normal PCC 80% FA 20%	0,000	0,050	0,042	0,037
Air Normal PCC 60% FA 40%	0,000	0,067	0,050	0,042

Gambar 7 menunjukkan nilai laju korosi tulangan beton pada lingkungan air normal untuk tiga variasi campuran, yaitu PCC 100%–FA 0%, PCC 80%–FA 20%, dan PCC 60%–FA 40%, pada umur perendaman 28, 56, dan 90 hari. Pada umur 28 hari, laju korosi masing-masing campuran berturut-turut sebesar 0,067; 0,050; dan 0,067 mm/year. Pada umur 56 hari, laju korosi menurun menjadi 0,050; 0,042; dan 0,050 mm/year, sedangkan pada umur 90 hari kembali menurun menjadi 0,037; 0,037; dan 0,042 mm/year. Secara umum, seluruh variasi menunjukkan kecenderungan penurunan laju korosi seiring bertambahnya umur perendaman. Campuran PCC 80%–FA 20% menunjukkan kinerja korosi yang relatif paling baik karena memiliki laju korosi terendah pada umur 28 dan 56 hari serta mencapai nilai yang

sama dengan PCC 100%–FA 0% pada umur 90 hari. Sementara itu, campuran PCC 60%–FA 40% menunjukkan laju korosi tertinggi pada umur 90 hari, yaitu 0,042 mm/year. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa substitusi fly ash sebesar 20% berpotensi memberikan kondisi matriks beton yang lebih efektif dalam membatasi proses korosi dibandingkan substitusi 40% pada lingkungan air normal.



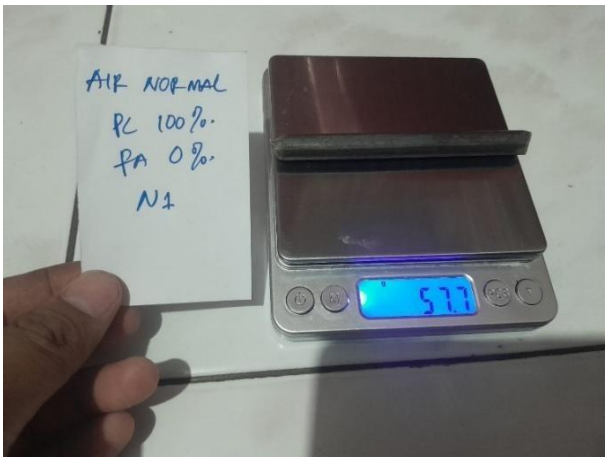
Gambar 7 Nilai laju korosi besi beton pada air normal

Gambar 8 memperlihatkan benda uji beton setelah mengalami pengujian korosi, dengan kondisi beton yang telah mengalami kerusakan pada bagian selimut beton sehingga tulangan di dalamnya menjadi terlihat. Secara visual tampak adanya perubahan warna kecokelatan pada permukaan dan bagian dalam beton di sekitar tulangan, yang mengindikasikan terbentuknya produk korosi pada tulangan. Selain itu, terlihat retakan, pengelupasan (spalling), dan kerusakan pada selimut beton, yang menunjukkan adanya degradasi lokal pada zona di sekitar tulangan. Kondisi tersebut dapat dikaitkan dengan proses korosi tulangan, di mana produk korosi yang terbentuk memiliki volume lebih besar dibandingkan baja awal sehingga dapat menimbulkan tekanan pada beton di sekitarnya dan menyebabkan retak serta pengelupasan selimut beton.



Gambar 8. Benda uji korosi

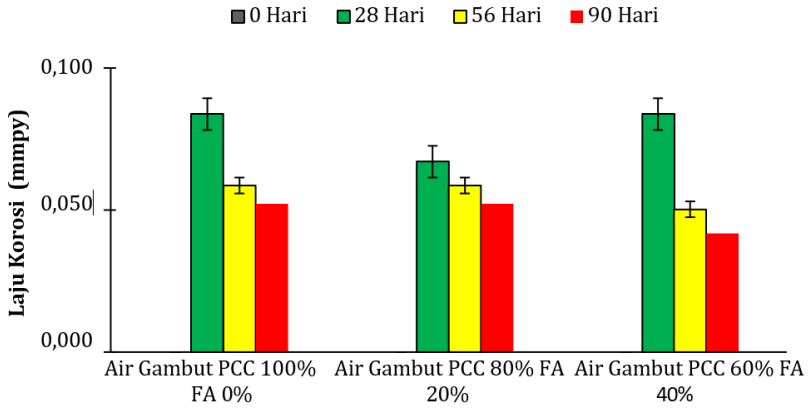
Pada Gambar 9 dapat dilihat proses penimbangan benda uji dalam penentuan laju korosi yang terjadi. Tabel 6 menunjukkan hasil uji laju korosi besi beton menggunakan air gambut dari ketika awal perendaman sampai dengan lama perendaman 90 hari.



Gambar 9. Menimbang benda uji

Tabel 6. Hasil uji laju korosi besi beton menggunakan air gambut

Variasi Benda Uji	Laju Korosi (mmpy)			
	0 Hari	28 Hari	56 Hari	90 Hari
Air Gambut PCC 100% FA 0%	0,000	0,084	0,059	0,042
Air Gambut PCC 80% FA 20%	0,000	0,067	0,059	0,052
Air Gambut PCC 60% FA 40%	0,000	0,084	0,050	0,042



Gambar 10. Nilai laju korosi besi beton pada air gambut

Nilai laju korosi besi beton pada air gambut dapat dilihat pada Gambar 10. Hasil pengujian laju korosi besi didalam beton setelah perendaman menggunakan air normal dan air gambut dengan campuran PCC100% FA0% , PCC 80% FA 20 %, dan PCC 60% FA40% tidak terjadinya laju korosi pada umur rendaman 0 hari hal ini dikarenakan singkatnya durasi perendaman beton. Nilai laju korosi pada umur rendaman 28 hari menggunakan campuran PCC100% FA0% , PCC 80% FA 20 %, dan PCC 60% FA40% menggunakan air normal adalah sebesar 0,067 mmpy, 0,050 mmpy dan 0,067 mmpy kemudian nilai laju korosi umur rendaman 28 hari menggunakan air gambut campuran PCC100% FA0% , PCC 80% FA 20 %, dan PCC 60% FA40% naik sebesar 25,37%, 34% dan 25,37% menjadi 0,084mmpy, 0,067 mmpy dan 0,084 mmpy .Kemudian mengalami penurunan pada umur 90 hari dengan nilai laju korosi perendaman dengan air normal sebesar 0,037 mmpy, 0,037 mmpy, 0,042 mmpy sedangkan laju korosi pada perendaman menggunakan air gambut nilainya lebih besar menjadi 0,042

mmpy, 0,052 mmpy dan 0,042 mmpy. Hal ini dikarenakan Air gambut mengandung asam sulfat yang dapat sehingga menyebabkan nilai laju korosi lebih besar dari air normal. Asam sulfat dalam air gambut bereaksi dengan besi dalam tulangan, membentuk senyawa yang dapat merusak struktur baja.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan beton, uji kuat tarik belah beton, dan uji korosi besi pada beton PCC menggunakan air normal dan air gambut dengan komposisi PCC 100%-FA0%, PCC 80%-FA20% dan PCC 60%-FA 40% dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai laju korosi pada besi didalam beton setelah perendaman 28,56 dan 90 hari termasuk kecil tetapi laju korosi menggunakan air gambut lebih besar dari pada nilai laju korosi perendaman menggunakan air normal. Hal ini dapat dilihat nilai laju korosi pada umur rendaman 90 hari menggunakan air normal dengan komposisi PCC 100% FA 0%, PCC 80% FA 20% dan PCC 60% FA 40% adalah sebesar 0,037 mmpy, 0,037 mmpy dan 0,042 mmpy kemudian naik menjadi 14,28% dan 42,85% menggunakan air gambut menjadi 0,042 mmpy, 0,052 mmpy dan 0,042 mmpy hal ini dikarenakan Asam sulfat dalam air gambut bereaksi dengan besi membentuk senyawa yang dapat merusak struktur baja yang ada di dalam beton.
2. Berdasarkan hasil uji kuat tekan beton dan kuat tarik beton setelah dilakukan perendaman umur 28,56 dan 90 hari menggunakan air normal dan air gambut diperoleh nilai optimal kuat tekan beton dan kuat tarik beton pada komposisi PCC 80% FA 20% hal ini disebabkan karena penambahan fly ash dapat meningkatkan mutu beton karena fly ash berperan sebagai bahan pozzolanic yang bereaksi dengan kalsium hidroksida (Ca(OH)2) yang dihasilkan dari hidrasi semen, membentuk senyawa baru yang lebih padat tetapi jika penggunaan fly ash sebagai subtitusi semen terlalu banyak dapat menurunkan mutu beton karena terlalu banyak mengurangi jumlah semen yang digunakan dalam campuran beton. Sementara semen memiliki peran penting sebagai bahan perekat utama dalam campuran beton, yang mengikat agregat halus (pasir) dan agregat kasar (kerikil) menjadi satu kesatuan yang padat dan kuat.
3. Nilai Uji kuat tekan beton dan uji kuat tarik beton menggunakan air normal lebih besar dari pada menggunakan air gambut. Menggunakan air normal ke dalam campuran adukan beton akan menghasilkan kualitas beton lebih baik dibandingkan menggunakan air gambut karena air gambut bersifat asam (pH rendah) dan kandungan organik tinggi sehingga dapat menghambat hidrasi semen. Pada penilitian ini diperoleh nilai kuat tekan beton kompisisi PCC100GFA0% menggunakan air normal pada umur 90 hari sebesar 23,33 Mpa kemudian berkurang 14,57% menggunakan air gambut menjadi 19,93 Mpa. Jadi untuk mendapatkan kualitas beton yang baik harus menggunakan air yang bersih, tidak berbau dan tidak berwarna.

Daftar Pustaka

[1] Olivia, M., Pradana, T., & Sitompul, I. R. (2017). Properties of plain and blended cement concrete immersed in acidic peat water canal. Procedia Engineering, 171, 557–563. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.01.372. Studi ini sangat relevan karena secara langsung membahas beton pada air gambut.

[2] Ahkam, M. F., Ismeddiyanto, & Kurniawandy, A. (2024). Pengaruh Air Gambut terhadap Sifat Mekanik Underwater Concrete Menggunakan Anti Washout Agent. Jurnal Arsip Rekayasa Sipil dan Perencanaan, 7(1), 63–74. https://doi.org/10.24815/jarsp.v7i1.34920.

[3] Mizam, I. M., Ismeddiyanto, & Kurniawandy, A. (2024). The Influence of Peat Water on the Physical Properties of Underwater Concrete. Rekayasa Sipil, 18(2), 94–100. https://doi.org/10.21776/ub.rekayasasipil.2024.018.02.4

[4] Mehta, P. K. (1983). Pozzolanic and cementitious byproducts as mineral admixtures for concrete—A critical review. ACI SP-79. Referensi fundamental mengenai mekanisme dan manfaat material pozzolanik terhadap beton.

[5] Hamada, H. M., Abdulhaleem, K. N., Majdi, A., et al. (2023). The durability of concrete produced from pozzolan materials as a partially cement replacement: A comprehensive review. Materials Today: Proceedings. DOI: 10.1016/j.matpr.2023.03.337.

[6] Siddique, R. (2004). Performance characteristics of high-volume Class F fly ash concrete. Cement and Concrete Research. Referensi penting mengenai pengaruh high-volume fly ash terhadap karakteristik beton. Literatur ini juga digunakan sebagai rujukan dalam penelitian terkait optimasi kadar fly ash.

[7] Nath, P., & Sarker, P. (2011). Effect of fly ash on the durability properties of high strength concrete. Procedia Engineering, 14, 1149–1156. DOI: 10.1016/j.proeng.2011.07.144.

[8] Montemor, M. F., Simões, A. M. P., & Salta, M. M. (2000). Effect of fly ash on concrete reinforcement corrosion studied by EIS. Cement and Concrete Composites, 22(3), 175–185. DOI: 10.1016/S0958-9465(00)00003-2. Referensi langsung untuk hubungan fly ash dan korosi tulangan.

[9] Moffatt, E. G., Thomas, M. D. A., & Fahim, A. (2017). Performance of high-volume fly ash concrete in marine environment. Cement and Concrete Research, 102, 127–135. DOI: 10.1016/j.cemconres.2017.09.008.

[10] Dhole, R., Thomas, M. D. A., Folliard, K. J., & Drimalas, T. (2019). Chemical and physical sulfate attack on fly ash concrete mixtures. ACI Materials Journal, 116(4), 31–42. DOI: 10.14359/51716678.

[11] Shaheen, F., & Pradhan, B. (2020). Role of chloride ion and cation type accompanied by sulfate ion on durability performance of concrete in conjoint chloride–sulfate environment. Journal of Materials in Civil Engineering, 32(9). DOI: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0003319.

[12] Olivia, M., Kamaldi, A., Ismeddiyanto, Wibisono, G., & Saputra, E. Evaluating Properties of Blended and High Volume Fly Ash Bottom Ash (FABA) Concrete in Peat Water. Journal of the Civil Engineering Forum. DOI: 10.22146/jcef.3397. Referensi ini sangat penting untuk memperkuat research gap karena secara langsung menghubungkan FABA dan lingkungan air gambut.