

DURABILITAS BETON BERTULANG DI LINGKUNGAN TANAH GAMBUT DI KABUPATEN BENGKALIS

Surga Roni¹, Monita Olivia², Gunawan Wibisono³

^{1,2,3} Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Riau

Email: surganada85@gmail.com, monitaolivia@gmail.com, g.wibisono@eng.unri.ac.id

ABSTRAK

Paparan air gambut yang bersifat asam dapat mempengaruhi durabilitas beton khususnya degradasi permukaan beton serta korosi baja tulangan pada beton bertulang yang berdampak pada masa layan beton bertulang itu sendiri. Penggunaan semen untuk konstruksi dalam beberapa tahun belakangan ini telah beralih dari tipe Ordinary Portland Cement (OPC) menjadi Portland Composite Cement (PCC). Hal ini berdasarkan kebijakan industri semen untuk mengkonversi sebagian kandungan semen OPC menggunakan material pozzolanik. Oleh karena itu semen tipe PCC lebih mudah diperoleh di pasaran dan telah banyak digunakan sektor konstruksi. Pada penelitian ini dikaji Durabilitas beton bertulang di lingkungan tanah gambut. Parameter penelitian adalah semen PCC dengan mutu beton $f'_{c14,53}$ MPa (K-175); $f'_{c20,75}$ MPa (K-250) dan f'_{c28} MPa (K-337,35) melalui proses curing menggunakan air normal dan umur beton yang direndam di lingkungan air gambut. Beton PCC dengan mutu beton $f'_{c14,53}$ MPa (K-175); $f'_{c20,75}$ MPa (K-250) dan f'_{c28} MPa (K-337,35) digunakan sebagai benda Uji, kemudian benda uji direndam di bak perendaman selama 28 hari dan diletakkan di daerah lingkungan gambut di Kelapa sari kabupaten Bengkalis hingga waktu pengujian. Pengujian yang dilakukan adalah kuat tekan, kuat tarik dan Kuat Lentur setelah benda uji direndam di Air gambut pada umur 0, 28, 91, dan 120 hari. Hasil pengujian menunjukkan bahwa umumnya kuat tekan, Kuat Tarik dan Kuat Lentur Meningkat direndam di di lingkungan gambut hingga umur 120 hari.

Kata kunci: Gambut , Portland Composite Cement, Kuat Tekan, Kuat Tarik dan Kuat Lentur, Korosi

ABSTRACT

Exposure to acidic peat water can affect the durability of concrete, especially degradation of the concrete surface and corrosion of reinforcing steel in reinforced concrete which has an impact on the service life of the reinforced concrete itself. The use of cement for construction in recent years has shifted from the Ordinary Portland Cement (OPC) type to the Portland Composite Cement (PCC). This is based on the cement industry policy to convert part of the OPC cement content using pozzolanic materials. Therefore, PCC type cement is easier to obtain on the market and has been widely used in the construction sector. In this study, the durability of reinforced concrete in peat soil was studied. The research parameters were PCC cement with concrete quality $f'_{c14.53}$ MPa (K-175); $f'_{c20.75}$ MPa (K-250) and f'_{c28} MPa (K-337.35) through a curing process using normal water and age of concrete immersed in a peat water environment. PCC concrete with concrete quality $f'_{c14.53}$ MPa (K-175); $f'_{c20.75}$ MPa (K-250) and f'_{c28} MPa (K-337.35) were used as test objects, then the test objects were immersed in soaking tub for 28 days and placed in a peat environment in Kelapa sari, Bengkalis district until the time of testing. The tests carried out were compressive strength, tensile strength and flexural strength after immersing the specimens in peat water at the age of 0, 28, 91, and 120 days. The test results show that generally the compressive strength, tensile strength and increased flexural strength are soaked in the peat environment until the age of 120 days.

Keywords: Peat environment Peat, Portland Composite Cement, Compressive Strength, Tensile Strength and Flexural Strength, Corrosion.

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan dan memiliki luas lahan gambut terbesar ke-4 di dunia. Pada tahun 1997, Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat menyatakan bahwa Indonesia memiliki

total lahan gambut 16,266 Ha. Berbagai bangunan dan infrastruktur seperti jembatan, saluran drainase, turap beton yang terpapar langsung dengan lingkungan Air gambut. Untuk keperluan pembangunan tersebut, struktur beton masih merupakan pilihan utama karena beton masih

relatif murah, mudah diperoleh, mudah dikerjakan, kuat dan mudah dibentuk dalam pelaksanaan pekerjaan di lapangan.

Trend penggunaan semen di Indonesia telah beralih dari jenis Ordinary Portland Cement (OPC) menjadi Portland Composite Cement (PCC) pada dekade ini. Perbandingan penggunaan semen PCC dibanding semen OPC adalah sekitar 80:20. Penggunaan semen PCC yang terus meningkat dalam proyek-proyek besar seperti proyek di lingkungan air gambut, menjadikan semen PCC mudah diperoleh di pasaran. Harga semen tipe PCC lebih murah dibandingkan dengan tipe OPC, sehingga kecenderungan pemakaian semen tipe PCC semakin meningkat.

Semen PCC merupakan bahan pengikat hidrolisis hasil penggilingan bersama-sama terak semen Portland dan gypsum dengan satu atau lebih bahan anorganik, atau hasil pencampuran antara bubuk semen Portland dengan bubuk bahan anorganik lain seperti terak tanur tinggi (slag), pozzolan, senyawa silikat, batu kapur dengan kadar total bahan anorganik 6-35% dari massa semen Portland komposit [1]. Bahan-bahan anorganik tersebut merupakan bahan-bahan mineral bersifat pozzolanic [2]. Bahan pozzolanic adalah bahan mineral yang unsur-unsurnya tidak memiliki sifat semen secara mandiri, namun bila bereaksi dengan kalsium-oksida dan air pada suhu biasa dapat membentuk senyawa seperti semen (cementitious). Pada umumnya semen PCC memiliki panas hidrasi rendah sampai sedang, tahan terhadap serangan sulfat, kekuatan tekan awal kurang, namun kekuatan akhir lebih tinggi.

Pada bangunan di lingkungan air gambut, semen yang direkomendasikan adalah semen tipe V atau semen tahan sulfat [3]. Akan tetapi karena semen tipe V tidak dapat diperoleh dengan mudah dari industri semen serta memerlukan biaya tambahan, maka untuk memudahkan pembangunan perlu dikaji penggunaan semen PCC untuk di lingkungan air Gambut. Beberapa penelitian sebelumnya terkait pengujian beton di lingkungan gambut yang pernah dilakukan diantaranya Olivia et al [4] melakukan penelitian terhadap ketahanan mortar di lingkungan asam dengan tipe semen yang berbeda. Kuat tekan mortar normal lebih rendah dibandingkan mortar *Ordinary Portland Cement* (OPC) yang ditambah abu sawit. Penggunaan mortar *Portland Composite Cement* (PCC) dapat meningkatkan kekuatan mortar yang terendam air gambut. Pandiangan et al. [5] melakukan penelitian ketahanan beton mutu tinggi di lingkungan asam dan menyimpulkan bahwa air gambut dengan pH berkisar 4,00 sampai 5,00 dapat menurunkan kuat tekan beton awal.

Pada penelitian ini akan mengkaji kuat tekan, Kuat tarik, kuat lentur, dan korosi beton menggunakan semen PCC setelah direndam pada umur 0, 28, 91, dan 120 hari secara langsung di air gambut.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Semen Portland Composite (PCC)

Semen merupakan bahan pengikat yang memiliki senyawa atau zat pengikat hidrolis. Zat-zat perekat dari semen mengandung senyawa kalsium silikat hidrat atau C-S-H yang reaktif bila diberi air sehingga dapat mengikat agregat kasar, agregat halus dan bahan tambah lainnya untuk membentuk massa padat dan keras.

Semen memiliki berbagai jenis/tipe, diantaranya Portland Composite Cement (PCC). Semen komposit ini diproduksi dari penggilingan bubuk semen Portland dengan bahan anorganik lain yang memiliki karakteristik pozzolan, mengandung silikat tinggi, mengandung kapur dan slag dari pembakaran biji besi. Bahan tersebut ditambahkan ke dalam semen sebanyak 6-35% dari berat semen berdasarkan SNI 15-7064-2004 [1]. Bahan tambah yang digunakan pada semen PCC bertujuan untuk memberikan peningkatan mutu, mempercepat waktu pengerasan, memperbaiki kemudah-pengerjaan, menurunkan porositas, meningkatkan ketahanan terhadap zat perusak di lingkungan agresif. Mineral yang digunakan dapat berupa material reaktif jika diberi air, material pozzolanic, dan kombinasi dari kedua jenis material tersebut [3].

Semen PCC biasanya digunakan sebagai pengganti semen tipe I (OPC) untuk pekerjaan beton, pasangan bata, dan konstruksi yang memerlukan ketahanan dan durabilitas tinggi di lingkungan agresif. Penggunaan Semen PCC (Portland Composite Cement) menghasilkan ketahanan beton maupun mortar yang lebih baik daripada semen OPC dalam lingkungan air laut, asam atau sulfat. Bahan tambah dalam semen akan reaktif saat bertemu dengan produk hidrasi semen, kemudian akan menghasilkan silikat tambahan melalui reaksi lanjutan atau reaksi pozzolanic untuk meningkatkan kuat tekan dan kedapatan beton seperti pada penelitian Susanto et al [6]. Oleh karena itu semen PCC lebih banyak direkomendasikan untuk konstruksi di lingkungan agresif.

Durabilitas

Beberapa hal dapat mempengaruhi durabilitas beton, seperti permeabilitas, kerusakan fisik, kimia, biologi akibat lingkungan, cuaca dan kerentanan tulangan baja akibat korosi [7]. Kerusakan fisik berupa abrasi sangat sering dialami beton yang langsung terpapar lingkungan agresif. Selain

penyebab fisik kerusakan pada beton, serangan kimiawi juga sangat berpengaruh terhadap kerusakan atau durabilitas beton. Serangan sulfat, serangan asam, alkali dan klorida dalam air laut adalah contoh serangan kimiawi dari lingkungan agresif yang dapat mengurangi durabilitas beton. Selain kuat tekan yang tinggi ketahanan beton ataupun mortar di lingkungan agresif, tolak ukur lainnya adalah permeabilitas. Permeabilitas yang rendah dapat meningkatkan ketahanan beton di lingkungan agresif, indikator ini berhubungan dengan porositas dan ukuran pori, serta kemampuan beton meloloskan air melalui pori tersebut.

Beton di Lingkungan Asam

Lingkungan agresif merupakan lingkungan yang rentan bagi struktur beton untuk mengalami serangan kimia seperti dari ion klorida, ion sulfat, dan ion asam menurut Komite American Concrete Institute atau ACI Committee [8]. Salah satu contoh lingkungan agresif adalah lingkungan asam baik alami seperti gambut atau sulfat, karena memiliki pH lebih kecil dari pH air normal.

Beton dapat diserang oleh berbagai asam organik maupun anorganik seperti sulfat, nitrat, klorida, fosfat, asetat, laktat dan lain-lain. Dari berbagai jenis asam tersebut, asam sulfat dianggap sebagai asam yang paling menyebabkan kerusakan beton [9]. Asam sulfat adalah jenis asam kuat yang mudah terionisasi secara sempurna di dalam air dibandingkan dengan jenis asam kuat lainnya, sehingga lebih sering dijumpai pada beberapa kandungan air yang bersifat asam seperti air gambut dan hujan asam [10].

Serangan asam pada beton berupa reaksi ion asam organik pada air gambut dengan produk hidrasi semen atau $\text{Ca}(\text{OH})_2$ membentuk gipsium yang mudah larut dalam air. Reaksi lanjutan gipsium dengan kalsium aluminat hidrat menghasilkan ettringite. Apabila dalam beton terdapat ettringite berlebihan, maka akan terjadi disintegrasi matriks beton sehingga terbentuk keropos pada beton yang akan mengurangi kekuatan [11].

Beton di Lingkungan Air Gambut

Pada penelitian terdahulu untuk beton dan mortar di lingkungan gambut telah dilakukan dengan cara merendam benda uji dalam air gambut. Pada lingkungan gambut terdapat asam organik dari hasil pelapukan tumbuhan yang terendam air di daerah rawa atau dataran rendah. Pelapukan tumbuhan tersebut terjadi dalam kondisi anaerob yang menyebabkan terjadinya asam organik. Oleh karena itu air gambut memiliki keasaman tinggi, warna keruh merah kecoklatan seperti karat, dan kandungan bahan organik tinggi [12]. Ion asam organik tersebut tidak hanya terdapat dalam tanah tetapi juga air gambut sehingga beton terendam air gambut sangat rentan mengalami kerusakan lebih

cepat. Beton yang dibuat dengan semen OPC lebih mudah rusak di lingkungan gambut karena asam organik menyerang produk hidrasi semen dengan air atau $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dan hasil reaksi berupa residu tidak bermanfaat bagi beton.

Pada penelitian menggunakan beton semen OPC, PCC, dan OPC-abu sawit yang direndam di kanal gambut memperlihatkan bahwa tambahan abu sawit dalam beton dapat meningkatkan ketahanan karena kuat tekan dan sifat mekanis lain terus meningkat [13]. Beton semen PCC dengan kuat tekan rencana 35 MPa pada penelitian ini juga memperlihatkan peningkatan kuat tekan dan penurunan porositas lebih signifikan dibandingkan beton OPC-abu sawit.

Penelitian Meirisa [14] menggunakan abu sekam padi untuk meningkatkan ketahanan mortar di lingkungan gambut, menggunakan 5%, 10% dan 15% abu sekam sebagai pengganti sebagian semen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggantian abu sekam maksimum 15% dapat membantu peningkatan kuat tekan dan penurunan porositas mortar setelah direndam dalam air gambut selama 91 hari.

Pada Penelitian Wandala [15] menggunakan semen *Portland Composite Cement* (PCC) untuk meningkatkan daya ketahanan pada daerah lingkungan gambut pengganti penggunaan semen *Ordinary Portland Cement* (OPC). Hasil penelitian menunjukkan bahwa Penggunaan PCC lebih baik dari OPC terhadap serangan asam organik dikarenakan bahan pozzolanik yang ada dalam semen PCC bereaksi dengan hasil hidrasi semen melalui silikat tambahan (C-S-H) yang dapat memperbaiki kekedapan dan kekuatan beton setelah direndam dalam air gambut selama 120 hari.

Korosi Tulangan Pada Beton

Pada permukaan tulangan baja terdapat lapisan pasif yang tipis. Lapisan pasif ini berguna untuk melindungi tulangan dari korosi. Lapisan pasif ini akan bereaksi dengan larutan asam atau akan larut dalam kondisi asam. Oleh karena beton bersifat alkali yakni basa dengan pH 12-13, maka baja tulangan dalam beton aman terhadap korosi. Beton sebagai material yang kuat dan padat, tetapi jika dilihat secara mikro beton akan jelas memiliki pori-pori yang berdiameter kecil dengan diameter 3 nm-2 μm . Pori-pori tersebut dinamakan pori kapiler. Ukuran diameter pori kapiler tersebut masih memungkinkan senyawa disekitar beton untuk berinfiltrasi kedalam beton dengan cara berdifusi.

Ion dari senyawa yang bersifat asam, seperti ion S dan Ca pada daerah asam, yang berdifusi kedalam beton sampai ke permukaan baja tulangan dapat mengakibatkan lapisan pasif baja hilang. Permukaan baja yang lapisan pasifnya hilang menjadi anode dari reaksi korosi baja tulangan. Elektron yang dilepaskan dari reaksi anode menyebabkan gas O_2 dan air yang terdapat diatas permukaan baja yang masih tertutup oleh lapisan pasif bereaksi. Kedua ion yang terbentuk pada anode dan katode bergabung membentuk senyawa hasil korosi. $\text{Fe}(\text{OH})_2$ sebagai bentuk awal senyawa

hasil korosi akan berada permukaan baja yang mengalami korosi. Selanjutnya tergantung konsentrasi O_2 dalam air yang terdapat pada pori-pori beton [16].

Laju korosi adalah kecepatan rambatan atau kecepatan penurunan kualitas bahan terhadap waktu. Korosi pada baja tulangan selain menyebabkan diameter baja berkurang juga menimbulkan volume senyawa hasil reaksi korosi yang lebih besar daripada volume baja yang bereaksi. Hal ini menyebabkan tekanan pada beton disekeliling baja yang bereaksi. Selimut pada beton yang melindungi beton disekeliling baja dapat mengalami keretakan atau terkelupas akibat tekanan dari pengembangan volume senyawa hasil reaksi korosi. Kerusakan ini menyebabkan kenerja beton berkurang dan menyebabkan beton rusak.

3. METODE PENELITIAN

Bahan Penelitian

Penelitian ini menggunakan benda uji beton yang terbuat dari material yang lazim digunakan di Bengkulu dengan tujuan agar diperoleh benda uji yang menyerupai dengan konstruksi beton yang ada di Bengkulu.

Agregat kasar dan halus yang dipakai berasal dari Kabupaten Tanjung Balai Karimun Provinsi Kepulauan Riau. Pemilihan material ini dikarenakan material ini lazim digunakan oleh pelaksana konstruksi di Bengkulu.

Air normal untuk pencampur beton dan air normal untuk proses curing digunakan air hujan. Air yang digunakan pada campuran beton harus bersih, tidak terdapat kandungan asam, zat organik, alkali, minyak atau bahan lain yang merusak beton. Secara garis besar air yang digunakan air tawar dan bisa diminum.

Setelah benda uji beton dibuat dan telah melalui proses curing selama 28 hari maka benda uji dilakukan perendaman di lingkungan air gambut yakni di saluran drainase Jl. Kelapasari Kecamatan Bengkulu Kabupaten Bengkulu Provinsi Riau. Adapun proses curing bertujuan agar proses hidrasi dapat berlangsung dengan sempurna.

Pengujian Karakteristik Material

Pengujian karakteristik material ini meliputi pengujian analisis saringan agregat halus dan kasar [17], pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus dan kasar [18][19], pengujian kadar air agregat [20], pengujian keausan agregat dengan mesin abrasi los angeles [21], serta air. Berdasarkan hasil pengujian karakteristik material, agregat kasar, agregat halus dan air memenuhi spesifikasi dan standar sebagai material penyusun beton. Untuk agregat kasar memiliki berat jenis SSD 2.62, absorpsi 0.38% dan kadar air 0.25%. Agregat halus memiliki berat jenis SSD 2.55, modulus kehalusan 2.89, absorpsi 1.11% dan kadar air 1.65%. Air pencampur yang digunakan adalah air hujan. Pada penelitian ini

menggunakan semen PCC yang diproduksi oleh PT. Semen Padang dimana komposisi fisika dan kimianya disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Portland Cement Composite (PCC) produksi PT. Semen Padang

No.	Pengujian	Hasil Uji
Komposisi kimia		
1.	Bagian tak larut	8.12%
2.	Magnesium oksida (MgO)	0.63%
3.	Sulfur trioksida (SO_3)	1.78%
4.	Hilang pijar	4.60%
5.	Total Alkali ($Na_2O+0.658K_2O$)	0.52%
Komposisi fisika		
6.	Kehalusan dengan alat Blaine	361 m^2/kg
7.	Kekekalan pemuatan dengan Autoclave	0.08%
8.	Waktu Pengikatan dengan alat Vicat	
	Ikut awal	145 menit
	Ikut akhir	228 menit
9.	Kekuatan tekan (mortar)	
	3 hari	182 kg/cm^2
	7 hari	246 kg/cm^2
	28 hari	335 kg/cm^2
10.	Pengikatan semu	71.08%

Pengujian berdasarkan SNI 15-2049-2004



Gambar 1. Agregat kasar dan halus asal Tanjung Balai Karimun

Pelaksanaan Pembuatan Benda Uji

a) Perencanaan Pembuatan Benda Uji

Pelaksanaan Penelitian benda uji yang akan dibuat pada penelitian ini berjumlah 144 benda uji. Untuk pengujian kuat tekan beton menggunakan benda uji berbentuk silinder beton dengan diameter 150 mm, tinggi 300 mm sebanyak 36 benda uji. Benda Uji Kuat Tarik Beton menggunakan benda uji berbentuk silinder beton dengan diameter 150 mm, tinggi 300 mm sebanyak 36 benda uji. Benda Uji Kuat Lentur menggunakan ukuran tinggi 150 mm, lebar 150 mm, panjang 600 mm sebanyak 36 benda uji dan benda uji Korosi beton berbentuk silinder beton dengan diameter 105 mm, tinggi 210 mm sebanyak 36 benda uji.

Tabel 2. Rencana pembuatan benda uji

No.	Pengujian dan kuat tekan rencana	Umur rendam (hari)	Jumlah benda uji
-----	----------------------------------	--------------------	------------------

1.	Kuat tekan		
	- 15 MPa	0, 28, 91, 120	12
	- 20 MPa	0, 28, 91, 120	12
	- 28 MPa	0, 28, 91, 120	12
2.	Kuat Tarik		
	- 15 MPa	0, 28, 91, 120	12
	- 20 MPa	0, 28, 91, 120	12
	- 28 MPa	0, 28, 91, 120	12
3.	Kuat Lentur		
	- 15 MPa	0, 28, 91, 120	12
	- 20 MPa	0, 28, 91, 120	12
	- 28 MPa	0, 28, 91, 120	12
4.	Korosi		
	- 15 MPa	0, 28, 91, 120	12
	- 20 MPa	0, 28, 91, 120	12
	- 28 MPa	0, 28, 91, 120	12
Jumlah			144

b) Perencanaan Mix Design Beton

Hasil pengujian properties agregat digunakan untuk memperoleh data-data dalam perencanaan komposisi beton [9]. Komposisi bahan pembentuk beton disajikan pada tabel 3.

Tabel 3. Komposisi beton per m³

Kuat tekan rencana	Air (kg)	Semen (kg)	Agregat halus (kg)	Agregat kasar (kg)
15 MPa	194.84	311.93	847.2	1008.0
20 MPa	189.38	331.93	831.3	1009.3
28 MPa	172.53	403.22	779.9	1006.2

c) Proses Pembuatan Benda Uji

Material penyusun beton yang digunakan ditimbang sesuai komposisi yang telah dihitung, selanjutnya material tersebut dicampur dengan menggunakan mesin pengaduk sampai campuran merata, kelecakannya cukup dan tampak campurannya homogen. Setelah pencampuran selesai dilakukan pengukuran *slump* untuk menentukan *workability* campuran dan diukur tinggi jatuh campuran tersebut. Kemudian campuran beton dimasukkan ke cetakan secara bertahap sebanyak tiga lapis yang lebih kurang sama tebalnya. Tiap lapisan dipadatkan menggunakan tongkat pemadat sebanyak 25 kali tusukan secara merata. Cetakan akan dibuka setelah ± 24 jam berikutnya.



Gambar 2. Pengukuran *slump* beton

d) Perawatan benda uji (curing)

Pelaksanaan perawatan bertujuan agar proses hidrasi semen dapat berlangsung dengan sempurna selama 28 hari, setelah itu benda uji direndam di lingkungan gambut. Dalam perawatan benda uji menggunakan air hujan yang telah diendapkan.



Gambar 3. Benda uji direndam dalam bak perendaman

Setelah selesai poses curing benda uji harus direndam di lingkungan air gambut yakni disaluran drainase. Gambar 4. Menunjukkan proses perendaman benda uji di saluran drainase di kota bengkalis selama 120 hari.



Gambar 4. Sampel benda uji dilokasi perendaman



Gambar 5. Benda uji direndam dalam saluran air gambut

Pelaksanaan pengujian

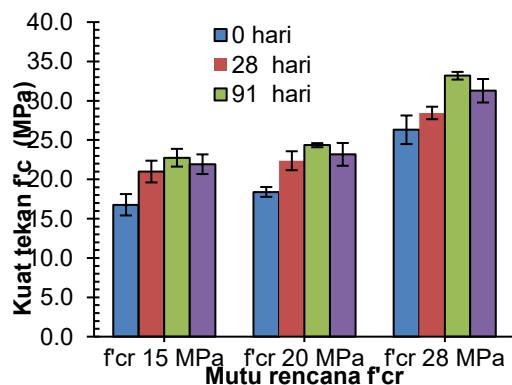
Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian kuat tekan dan pengujian porositas dimana masing-masing pengujian menggunakan tiga benda uji. Umur pengujian dilakukan pada 0, 28, 91 dan 120 hari perendaman di lingkungan gambut. Penggunaan alat *Universal Testing Machine (UTM)* untuk pengujian kuat tekan dan tarik mengacu pada standar SNI 03-1974-1990 [22]. Pengujian Kuat Lentur mengacu

pada SNI 4431:2011 [23]. sedangkan Standar Pengujian korosi mengacu pada standar ASTM G102 1994 [24].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kuat tekan

Hasil pengujian kuat tekan beton pada benda uji setelah poses curing dan perendaman selama 120 hari di lingkungan gambut terlihat bahwa kuat tekan beton semakin meningkat seiring bertambahnya umur perendaman. Kuat tekan beton semakin meningkat antara 25,25 % s/d 30,7%. Peningkatan kuat tekan ini dimungkinkan akibat adanya bahan tambahan yang terkandung dalam semen PCC. Lambatnya reaksi *pozzolanik* pada semen PCC menyebabkan lamanya pembentukan Kalsium Silikat Hidrat pada beton. Hasil pengujian kuat tekan beton pada benda uji dapat dilihat pada gambar 6 berikut.



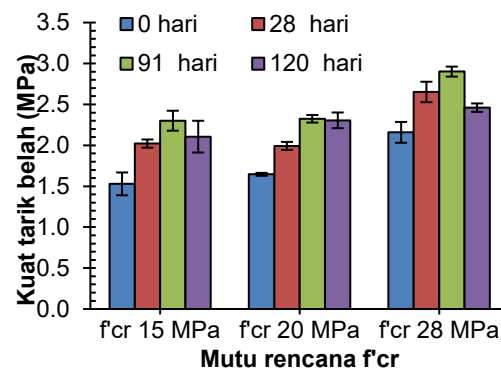
Gambar 6. Hasil Pengujian Kuat tekan beton

Pada umur 28 hari, benda uji dengan f'cr 15 MPa mengalami peningkatan kuat tekan terbesar yakni 25,2%, diikuti dengan f'cr 20 MPa sebesar 21,6% dan terkecil terjadi pada f'cr 28 MPa sebesar 8,1%. Pada umur 91 hari perendaman di lingkungan gambut masih terjadi peningkatan kuat tekan untuk ketiga jenis kuat tekan rencana, dimana peningkatan terbesar terjadi pada benda uji dengan f'cr 15 MPa sebesar 35,7%, diikuti dengan f'cr 20 MPa sebesar 32,3% dan yang terkecil terjadi pada f'cr 28 MPa yakni sebesar 26,1%. Berbeda halnya pada umur 120 hari perendaman di lingkungan gambut, untuk benda uji dengan f'cr 15 MPa dan f'cr 20 MPa serta 28 MPa terjadi penurunan kuat tekan menjadi 30,7% untuk f'cr 15 MPa dan 26,0% untuk f'cr 20 MPa serta 18,9% Untuk 28 MPa. Seluruh persentase kuat tekan tersebut dihitung dari kuat tekan umur 0 hari perendaman di lingkungan air gambut dengan kata lain dihitung berdasarkan kuat tekan setelah selesai proses perawatan atau *curing* dan sebelum benda uji ditempatkan di lingkungan gambut.

Dari pengujian ini terlihat bahwa penggunaan semen PCC memberikan kontribusi yang lebih baik dalam hal ketahanan beton di lingkungan air gambut khususnya terkait kuat tekan beton. Temuan serupa juga dikonfirmasi dengan penelitian yang dilakukan oleh Monita Olivia et al. 2014 [25].

Kuat Tarik

Hasil pengujian kuat Tarik Belah beton pada umur 0, 28, 91, dan 120 hari dapat dilihat pada Gambar 7. Secara umum kuat tarik belah beton meningkat dengan bertambahnya umur beton setelah direndam di air gambut.

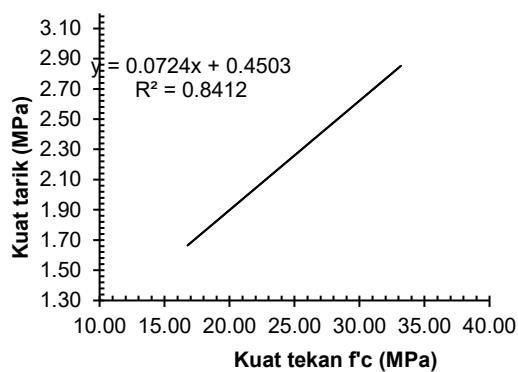


Gambar 7. Hasil Pengujian Kuat Tarik beton

Perubahan kuat tarik beton dengan mutu 15, 20 dan 28 MPa yang direndam selama 120 hari sangat signifikan. Pada umur beton 28 hari, benda uji beton f'cr 15 meningkat sebesar 32,2%, hal yang sama dengan f'cr 20 MPa meningkat sebesar 21,1%, dan f'cr 28 MPa meningkat sebesar 22,9%. Pada umur 91 hari perendaman di lingkungan gambut masih terjadi peningkatan kuat tarik untuk ketiga jenis kuat tekan rencana, dimana peningkatan terbesar terjadi pada benda uji dengan f'cr 15 MPa sebesar 50,5%, diikuti dengan f'cr 20 MPa sebesar 41,3% dan yang terkecil terjadi pada f'cr 28 MPa yakni sebesar 34,4%. Berbeda halnya pada umur 120 hari perendaman di lingkungan air gambut, untuk benda uji dengan f'cr 15 MPa dan f'cr 20 MPa serta 28 MPa terjadi penurunan kuat tarik menjadi 37,8% untuk f'cr 15 MPa dan 40,1% untuk f'cr 20 MPa serta 14,0% Untuk 28 MPa. Seluruh persentase kuat tarik tersebut dihitung dari kuat tarik umur 0 hari perendaman di lingkungan gambut dengan kata lain dihitung berdasarkan kuat tarik setelah selesai proses perawatan atau *curing* dan sebelum benda uji ditempatkan di lingkungan gambut.

Hubungan Kuat Tekan dan Kuat Tarik

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan dan pengujian Kuat tarik maka dapat dilihat hubungan antara kuat tekan dan kuat tarik pada gambar 8.

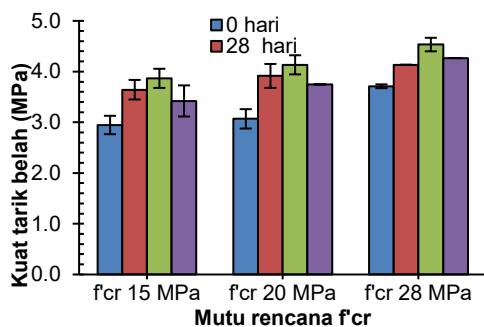


Gambar 8. Hubungan antara kuat tekan dan Kuat tarik

Pada Gambar 8, Kuat tekan berbanding lurus dengan kuat tarik. Korelasi kuat tekan dan kuat tarik berbanding lurus dengan $R^2 = 0.8412$. Hal ini menguatkan teori umum bahwa semakin tinggi kuat tekan maka semakin besar kuat tarik.

Kuat Lentur

Hasil pengujian kuat lentur beton pada umur 0, 28, 91, dan 120 hari dapat dilihat pada Gambar 9. Secara umum kuat lentur beton meningkat dengan bertambahnya umur beton setelah direndam di air gambut.



Gambar 9. Hasil Pengujian Kuat Lentur

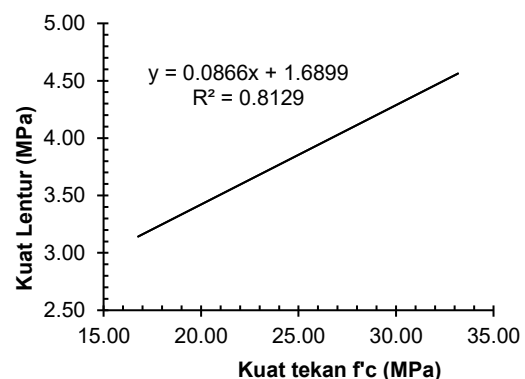
Pada umur 28 hari, benda uji dengan f'_{cr} 20 MPa mengalami peningkatan kuat lentur terbesar yakni 27,6%, diikuti dengan f'_{cr} 15 MPa sebesar 23,6% dan terkecil terjadi pada f'_{cr} 28 MPa sebesar 11,4%. Pada umur 91 hari perendaman di lingkungan air gambut masih terjadi peningkatan kuat lentur untuk ketiga jenis kuat tekan rencana, dimana peningkatan terbesar terjadi pada benda uji dengan f'_{cr} 20 MPa sebesar 34,7%, diikuti dengan f'_{cr} 15 MPa sebesar 31,2% dan yang terkecil terjadi pada f'_{cr} 28 MPa yakni sebesar 22,2%. Berbeda halnya pada umur 120 hari perendaman di lingkungan air gambut, untuk benda uji f'_{cr} 15 MPa dan 20 MPa serta 28 MPa terjadi Penurunan kuat lentur sebesar 16,1% untuk f'_{cr} 15 MPa dan 22,1% untuk f'_{cr} 20 MPa serta 15% untuk f'_{cr} 28 MPa. Seluruh persentase kuat lentur tersebut terhitung dari kuat lentur umur 0 hari perendaman di lingkungan gambut dengan kata lain dihitung berdasarkan kuat lentur setelah selesai proses

perawatan atau *curing* dan sebelum benda uji ditempatkan di lingkungan gambut.

Hubungan Kuat Tekan dan Kuat Lentur

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan dan pengujian Kuat tarik maka dapat dilihat hubungan antara kuat tekan dan kuat tarik pada gambar 10.

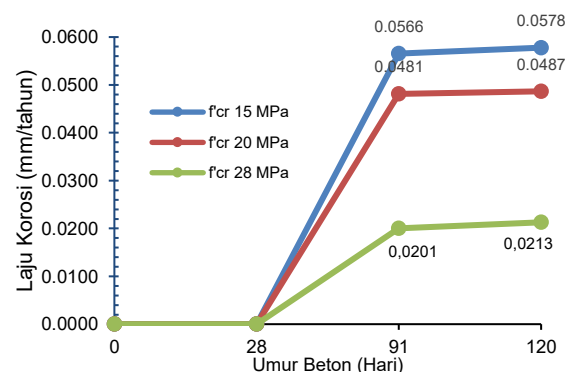
Pada Gambar 10, Kuat Tekan berbanding lurus dengan kuat Lentur. Korelasi kuat tekan dan kuat tarik berbanding lurus dengan $R^2 = 0.8129$. Hal ini menguatkan teori umum bahwa semakin tinggi kuat tekan maka semakin besar kuat Lentur



Gambar 10. Hubungan antara kuat tekan dan Kuat tarik

Korosi

Hasil pengujian laju korosi berdasarkan ASTM G102 1994 menggunakan benda uji silinder dengan waktu perendaman selama 0,28,91, dan 180 hari dapat dilihat pada Gambar 11 berikut :



Gambar 11. Hasil Pengujian Korosi

Pada umur beton 0 dan 28 hari perendaman untuk ketiga jenis kuat tekan rencana f'_{cr} 15 MPa, f'_{cr} 20 MPa dan f'_{cr} 28 MPa, baja tulangan belum mengalami korosi. Benda uji mengalami korosi pada umur 91 hari perendaman di lingkungan air gambut, dengan laju korosi terbesar pada benda uji f'_{cr} 15 MPa sebesar 0,0566 mm/tahun, diikuti dengan f'_{cr} 20 MPa sebesar 0,0481 mm/tahun, sedangkan laju korosi

yang terkecil f'_{cr} 28 MPa sebesar 0,021 mm/tahun. Pada umur 120 hari perendaman laju korosi semakin meningkat yakni pada benda uji f'_{cr} 15 MPa Sebesar 0,0578 mm/tahun, diikuti oleh benda uji f'_{cr} 20 MPa sebesar 0,0487 mm/tahun dan yang terkecil pada benda uji f'_{cr} 28 MPa sebesar 0,0213 mm/tahun.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian beton dengan berbagai mutu beton menggunakan semen PCC memberikan kontribusi yang lebih baik dalam hal ketahanan beton di lingkungan gambut akibat adanya material *pozzolanik* yang terdapat pada semen PCC. Untuk konstruksi beton di lingkungan gambut sangat disarankan untuk menggunakan kuat tekan rencana f'_{cr} 28 MPa dimana mutu beton ini dianggap lebih mampu bertahan dari serangan asam organik yang ada di lingkungan air gambut. Hal ini dikarenakan f'_{cr} 28 MPa memiliki kuat tekan yang tinggi dan kuat tarik yang tinggi serta kuat lentur yang tinggi. Semakin tinggi kuat tekan maka semakin besar kuat tarik dan kuat lentur sehingga semakin besar ketahanan konstruksi beton itu dari serangan asam organik yang terdapat di lingkungan gambut.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] SNI (2004). SNI 15-7064-2004: Semen portland komposit. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- [2] Supartono, F.X. (2001). Beton Bahan Dasar dan Unsur Kekuatannya. Di dalam: Anonim. Trend.
- [3] Mulyono, Tri, 2007, *Teknologi Beton*, Yogyakarta : Penerbit Andi, 2007.
- [4] Monita Olivia, Tomy Pradana, Iskandar Romey Sitompul, 2016, *Properties of Plain and Blended Cement Concrete Immersed in an Acidic Peat Water Canal*, Sustainable Civil Engineering Structure and Construction Material 2016, SCESCM 2016.
- [5] Pandiangan, J.A, Olivia, M. Dramayanti, L, Ketahanan Beton Mutu Tinggi di lingkungan asam, Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Teknik dan Sains, Vol.1, No.1 , 2014.
- [6] Susanto, D, Djauhari Z, Olivia, M, Karakteristik beton menggunakan Portland Composite Cemen PCC dan Silica Fume untuk Aplikasi struktur didaerah laut, *Jurnal Rekayasa Sipil* , Vol 15, No. 1 , 2019.
- [7] Lobo, C.L, *New perspective on Concrete Durability*, Concrete in Focus magazine, 2007.
- [8] ACI Committe 201, Guide to Durable Concrete, Farmington Hills: American Concrete Institute, 2008.
- [9] Allahverdi, A, Acidic corrosion of hydrated cement based materials Part 2. Kinetics of the phenomenon and mathematical models, *Ceramics Silikat*, Vol. 44, No..4, 2000.
- [10] Song X, Delopment and Performace of class F Fly ash bsd geopolymer concrete against sulphuric acid attacck. PhD Thesis, University of New South Wales, 2007
- [11] Sebayang, S, Pengaruh abu terbang sebagai pengganti sejumlah semen tipe V pada beton mutu tinggi , *Jurnal Teknik Sipil* Vol. 6 No.2, 2006.
- [12] Eglinton, M, Resisteance of concrete to Destructive agencies. In Hewlet, P.C. (ed). *Lea's Chemistry of Cement and Concrete*. Amsterdam : Elsevier Science & Technology Books.
- [13] Olivia, M, Pradana, T, Sitompul, I.R, Properties of plain and blended cement concrete immersed in acidic peat water canal, *Procedia Engineering*, Vol. 171, 2017.
- [14] Ednor, M, Sitompul, I.R., Olivia, M, Kuat tekan dan perubahan berat mortar menggunakan bahan tambah abu sekam padi (rice husk ash) di air gambut, Prosiding Konferensi Nasional Teknik Sipil dan Perencanaan (KN-TSP), 2017.
- [15] Wandala Adi Putra, 2020, Ketahanan Beton semen Portland Composite cement(PCC) di lingkungan gambut kabupaten Bengkalis.
- [16] Tawfik, T.A,El, M.A., abd, Y. S., Aleem, E., gbr, A. S., abd, G. M, & Hafez, E. (2019), *Effect on Nano Silica and Nano Waste material on Durability and Corrosion rate of steel reinforcement Embedded in High performance concrete*. Asian Journal of Civil Engineering, 20(1), 135-147.
- [17] Badan Standarisasi Nasional, 1991, *Metode Pengujian Tentang Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar*, SNI 03-1968-1991.
- [18] Badan Standarisasi Nasional, 1991, *Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar*, SNI 03-1969-1991.
- [19] Badan Standarisasi Nasional, 1991, *Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus*, SNI 03-1970-1991.
- [20] Badan Standarisasi Nasional, 1991, *Metode Pengujian Kadar Air Agregat*, SNI 03-1971-1991.
- [21] Badan Standarisasi Nasional, 1991, *Metode Pengujian Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles*, SNI 03-2417-1991.
- [22] Badan Standarisasi Nasional, 1990, *Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*, SNI 03-1974-1990.
- [23] SNI 4431:2011. 2011, *Cara Uji Kuat Lentur Beton Normal dengan Dua Titik Pembebanan*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- [24] ASTM G102. 91994). *Standard Practice for Calculation Of Corrosion Rates And Related*

Information From Electrochemical Measurements.

- [25] Monita Olivia, Uli A Hutapea, Iskandar R Sitompul, Lita Darmayanti, Alfian Kamaldi and Zulfikar Djauhari, 2014, *Resistance of Plain and Blended Cements Exposed to Sulfuric Acid Solution and Acidic Peat Water: A Preliminary Study*, 2014, The 6th International Conference of Asian Concrete Federation, Seoul, Korea.