

Pengaruh Air Payau Terhadap Kuat Tekan Beton dengan Semen PCC

Aditya Wisnu Nugraha ¹⁾

Chatarina Niken ²⁾

Endro Prasetyo Wahono ³⁾

Mohd. Isneini ⁴⁾

Abstract

Concrete is a type of construction that is widely used today, one of which is water building infrastructure. Concrete must be resistant to various environmental conditions, such as brackish water. Brackish water is an aggressive environment with chemical contents that can interfere with the compressive strength of concrete. Currently, PCC type cement (Portland Composite Cement) tends to be more widely used than OPC (Ordinary Portland Cement) because the price is cheaper and more environmentally friendly, which has an impact on global warming. The aim of this research is to determine the impact of the aggressive environment of brackish water on the compressive strength of concrete with PCC cement. 18 cylindrical test objects with a diameter of 15 cm and a height of 30 cm were used, which were divided into two types of tests, namely protected concrete and concrete submerged in brackish water. Each test is carried out with three test objects at concrete ages of 28 days, 56 days, and 90 days. The data obtained was then analyzed using the Dixon criteria in accordance with ASTM E 178-02. Compressive strength testing is obtained from the Compression Testing Machine (CTM). The research results show that brackish water has a negative impact on the compressive strength of concrete. At the age of 28 days, the concrete submerged in brackish water reaches its design compressive strength. However, at 56 days and 90 days, the concrete experienced a decrease in compressive strength compared to protected concrete. This is because there is chloride and sulfate content in brackish water, which can damage the structure in the concrete.

Keywords : brackish water, compressive strength, concrete, PCC.

Abstrak

Beton merupakan jenis konstruksi yang banyak digunakan saat ini salah satunya tiang pancang pada dermaga. Beton harus tahan terhadap berbagai kondisi lingkungan seperti air payau. Air payau adalah lingkungan agresif dengan kandungan kimia yang dapat mengganggu kuat tekan beton. Saat ini, semen jenis PCC (*Portland Composite Cement*) cenderung lebih banyak digunakan dibanding OPC (*Ordinary Portland Cement*) karena harganya yang lebih murah dan lebih ramah lingkungan karena pemanasan global. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui dampak lingkungan agresif air payau terhadap kuat tekan beton dengan semen PCC. Digunakan 18 buah benda uji silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm yang terbagi menjadi dua jenis pengujian yaitu beton terlindung dan beton terendam air payau. Dimana setiap pengujian dilakukan dengan 3 buah benda uji pada umur beton 28 hari, 56 hari dan 90 hari. Dari data yang diperoleh kemudian dianalisis dengan kriteria dixon sesuai dengan ASTM E 178-02. Pengujian kuat tekan didapat dari alat *Compression Testing Machine* (CTM). Hasil penelitian menunjukkan bahwa air payau berdampak negatif terhadap kuat tekan beton. Pada umur 28 hari, beton terendam air payau mencapai kuat tekan rencananya. Namun, pada umur 56 hari dan 90 hari beton mengalami penurunan kuat tekan jika dibanding dengan beton terlindung. Hal ini dikarenakan terdapat kandungan klorida dan sulfat pada air payau yang dapat merusak struktur didalam beton.

Kata kunci : air payau, beton, kuat tekan, PCC.

¹⁾ Mahasiswa S1 pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung.
Surel: wisnuaditya048@gmail.com

²⁾ Dosen pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro No.1 . Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145.

³⁾ Dosen pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro No. 1. Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145.

⁴⁾ Dosen pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro No. 1. Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145.

I. PENDAHULUAN

Tiang pancang adalah salah satu aspek penting dalam kemajuan infrastruktur. Sebagian besar wilayah Indonesia adalah perairan. Hal ini menyebabkan banyak konstruksi di Indonesia terpapar air. Salah satu konstruksi yang banyak digunakan adalah beton. Bangunan dan prasarana lain membutuhkan kekuatan dan ketahanan tinggi terhadap berbagai kondisi lingkungan, salah satunya tahan terhadap air payau. Salah satu contoh daerah air payau adalah muara sungai dimana terjadi pertemuan antara air sungai dan air laut.

Air payau merupakan lingkungan yang agresif dimana terdapat kandungan kimia seperti sulfat dengan konsentrasi tertentu yang dapat mengganggu sifat fisik maupun sifat mekanik beton (Nursandah dkk, 2022). Kerusakan pada beton dapat berakibat pada keselamatan pengguna konstruksi. Masalah yang banyak dihadapi yaitu penurunan mutu beton akibat elemen struktur yang keropos dan degradasi beton karena pengaruh lingkungan. Pada kondisi ini diperlukan tindakan pencegahan maupun perbaikan sehingga umur konstruksi dapat sesuai yang direncanakan.

Banjir rob yang ada di Jakarta Utara dan Semarang Utara juga merupakan salah satu fenomena bercampurnya air laut dan air tawar. Banjir rob adalah genangan air yang terjadi di daratan karena kenaikan muka air laut (Triana & Hidayah, 2020). Fenomena banjir rob disebabkan karena wilayah daratan yang lebih rendah daripada muka air laut pasang tertinggi. Pada saat banjir rob terjadi, ada pertemuan antara air laut yang pasang dan air tawar yang ada di daratan dan merendam konstruksi bangunan yang ada di wilayah banjir tersebut. Banjir rob terjadi secara berulang dapat mengakibatkan penurunan terhadap kuat tekan beton. Penurunan kuat tekan beton diakibatkan oleh proses kapilaritas air rob ke dalam material beton dan kontak antara beton dan udara yang terkontaminasi oleh klorida dan sulfat (Nuroji, 2020).

Saat ini, salah satu tipe semen yang dapat dengan mudah ditemukan di pasaran karena penggunaannya yang terus meningkat dalam proyek besar adalah semen tipe PCC (*Portland Composite Cement*). Kecenderungan pemakaian semen tipe PCC terus meningkat dikarenakan harga semen tipe PCC lebih murah dibandingkan dengan semen tipe OPC (*Ordinary Portland Cement*) dan lebih ramah lingkungan guna mengurangi pemanasan global. Untuk memperoleh semen tipe OPC, harus melalui pemesanan khusus karena tidak diedarkan di masyarakat. Semen OPC tidak mengandung material pozzolan didalamnya (Susanto dkk, 2019). PCC merupakan produk semen yang mengandung klinker lebih sedikit antara 65% - 95% dibandingkan dengan OPC sebesar 95% (SNI 7064:2014).

Berdasarkan latar belakang di atas, perlu dilakukan penelitian bagaimana pengaruh air payau terhadap kuat tekan beton dengan semen PCC.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Beton

Menurut SNI 2847: 2019, beton adalah campuran semen portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (*admixture*). Beton memiliki kelebihan kuat tekan yang tinggi. Namun, memiliki kuat tarik yang rendah. Beton normal dengan kualitas yang baik yaitu beton yang mampu menahan kuat desak/hancur yang diberi beban berupa tekanan dengan

dipengaruhi oleh bahan-bahan pembentuk, kemudahan pengerjaan (*workability*), faktor air semen (*fas*) dan zat tambahan (*admixture*) bila diperlukan (Bachtiar & Makbul, 2022).

2.1.1. Penyusun Beton

a. Agregat

Agregat (*Aggregate*) adalah bahan berbutir, seperti pasir, kerikil, batu pecah, dan slag tanur (*blast-furnace slag*), yang digunakan dengan media perekat untuk menghasilkan beton atau mortar semen hidrolis (SNI 2847:2019). Agregat yang digunakan sebagai penyusun beton dibagi menjadi dua yaitu agregat kasar dan agregat halus. Agregat kasar adalah agregat yang ukuran butirannya lebih besar dari 4.75 mm atau saringan no. 4 (SNI 1969:2008). Sedangkan, agregat halus adalah agregat yang memiliki ukuran butiran lebih kecil dari 4.75 mm (SNI 1970:2008).

b. Semen

Semen portland komposit adalah bahan pengikat hidrolis dari hasil penggilingan bersama terak semen portland dan gipsum dengan satu atau lebih bahan anorganik, atau hasil pencampuran antara bubuk semen portland dengan bubuk bahan anorganik lain. Bahan anorganik tersebut antara lain terak tanur tinggi BFS (*Blast Furnace Slag*), pozolan, senyawa silikat, batu kapur, dengan kadar total bahan anorganik 6% - 35% dari massa semen portland komposit (SNI 15-7064-2004).

c. Air

Air yang digunakan sebagai bahan penyusun beton harus bersih dan bebas dari bahan-bahan yang merusak yang mengandung oli, asam, alkali, garam, bahan organik, atau bahan-bahan lainnya yang merugikan terhadap beton atau tulangan.

2.2. Air Payau

Air payau adalah campuran antara air tawar dan air laut (air asin). Jika kadar garam yang dikandung dalam satu liter air adalah antara 0,5 sampai 30 gram, maka air ini disebut air payau (Nursandah dkk, 2022).

2.3. Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton merupakan kekuatan tekan maksimum yang dapat dipikul beton per satuan luas. kuat tekan beton diwakili oleh tegangan tekan maksimum σ dengan satuan N/mm^2 atau MPa. Kuat tekan beton mengindentifikasikan mutu dari sebuah struktur. Semakin tinggi tingkat kekuatan struktur, semakin tinggi pula mutu betonnya. Beberapa faktor yang memengaruhi kekuatan tekan beton yaitu proporsi bahan-bahan penyusunnya, metode perancangan, perawatan, dan keadaan pada saat pengecoranya.

Rumus yang digunakan untuk menghitung kuat tekan beton disajikan pada Persamaan (1).

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

keterangan:

f_c : tegangan tekan (MPa)
 P : gaya tekan (N)
 A : luas penampang (mm^2)

III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental dengan benda uji terlindung dan terendam air payau. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm berjumlah 9 buah pada setiap pengujian dengan kuat tekan rencana f_c 20.75 MPa. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 28 hari, 56 hari, 90 hari.

3.1. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian untuk benda uji terlindung di Laboratorium Bahan dan Konstruksi, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Sementara itu, lokasi penelitian untuk perendaman benda uji air payau dilakukan di Budidaya *Mangrove* Cuku NyiNyi, Kab. Pesawaran. Lokasi ini memiliki koordinat geografis pada lintang 5.5622° dan bujur 105.2446° (Gambar 1)



Gambar 1. Lokasi Budidaya *Mangrove* Cuku NyiNyi

3.2. Material

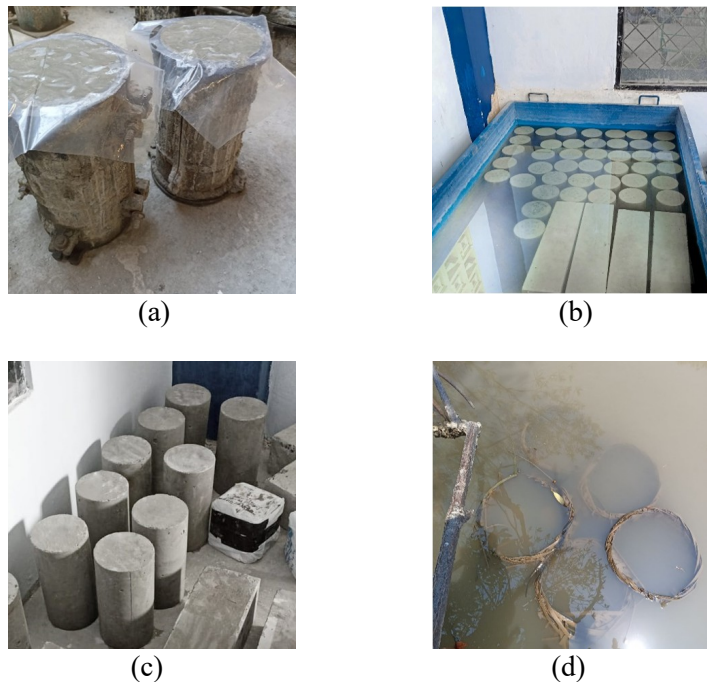
Penelitian ini menggunakan semen jenis *Portland Composite Cement* (PCC) produk Tiga Roda. Agregat kasar berasal dari PT. Sumber Batu Berkah, Kec. Katibung, Kab. Lampung Selatan. Agregat halus berasal dari industri pasir *quarry* Gunung Sugih. Air yang digunakan pada penelitian ini berasal dari Laboratorium Bahan dan Konstruksi, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Air harus bersih, tidak terkontaminasi minyak, lumpur, dan zat-zat yang berpotensi merusak beton. Beton yang digunakan adalah beton normal dengan kuat tekan rencana f_c 20.75 Mpa dan nilai *slump* 6 – 18 cm dengan menggunakan *mix design* SNI 03 – 2834 – 2000 (Tabel 1).

Tabel 1. Hasil Perhitungan *Mix Design*

Material	Kebutuhan
Semen (kg/m^3)	379,63
Agregat halus (kg/m^3)	41,63
Agregat kasar (kg/m^3)	1013,75
Air (kg/m^3)	205
w/c	0,54

3.3. Metode

Segera setelah dilakukan pengecoran, benda uji ditutup menggunakan plastik untuk menghindari penguapan air secara berlebihan dari dalam beton dan juga masuknya udara luar ke dalam beton (Gambar 2a). Setelah 24 jam berikutnya, beton dilepas dari cetakan atau *bekisting*. Kemudian, beton di curing didalam bak perendaman berisi air tawar selama 7 hari (Gambar 2b). Setelah proses curing selesai, beton terlindung diletakkan di ruangan terlindung dari cuaca atau pengaruh lingkungan luar seperti hujan (Gambar 2c). Beton yang terendam air payau direndam di dalam keranjang yang diikat pada aliran sungai yang langsung mengarah ke laut di Budidaya *Mangrove* Cuku NyiNyi. Tinggi muka air harus lebih tinggi dibanding beton sehingga dapat memastikan seluruh bagian beton terendam sempurna (Gambar 2d).



Gambar 2. (a) Pemasangan plastik; (b) proses curing; (c) peletakan beton terlindung; (d) peletakan beton terendam air payau

Penelitian ini mencakup pengujian terhadap kuat tekan dari beton terlindung dan terendam air payau dengan 3 buah benda uji setiap pengujian. Data dari ketiga benda uji tersebut dianalisis menggunakan metode kriteria dixon, yang digunakan untuk mengidentifikasi adanya nilai *outlier* dalam data. ASTM E 178-02 adalah metode pengolahan data dengan kriteria dixon. Kriteria dixon digunakan untuk menyeleksi data atau membuang data yang kemungkinan besar *outlier*. Persamaan kriteria Dixon untuk 3–7 sampel dengan $X_1 \leq X_2 \leq \dots \leq X_n$ adalah sebagai berikut:

$$\text{Kriteria dixon data terkecil : } D_{3-7} = (X_2 - X_1) / (X_n - X_1) \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{Kriteria dixon data terbesar : } D_{3-7} = (X_n - X_{n-1}) / (X_n - X_1) \dots\dots\dots (3)$$

Persamaan (2) dan (3) digunakan untuk menyeleksi data terbesar dan terkecil hasil pengujian pada ketiga benda uji saat pengujian. Hasil analisis perhitungan harus berada dibawah ambang batas dengan signikansi tertentu berdasarkan jumlah benda uji (Tabel 2). Pengujian kuat tekan baik terlindung maupun terendam air payau dilakukan pada 28

hari, 56 hari, dan 90 hari menggunakan alat *Compression Testing Machine* (CTM). Setelah itu, data kuat tekan pada setiap pengujian digabungkan dengan dicari rata-ratanya dan kemudian dibandingkan antara beton terlindung dan terendam air payau.

Tabel 2. Nilai Kritis untuk Kriteria Dixon

Jumlah Data (n)	95%
3	0,970
4	0,829
5	0,710
6	0,628
7	0,569

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Salinitas Air Payau

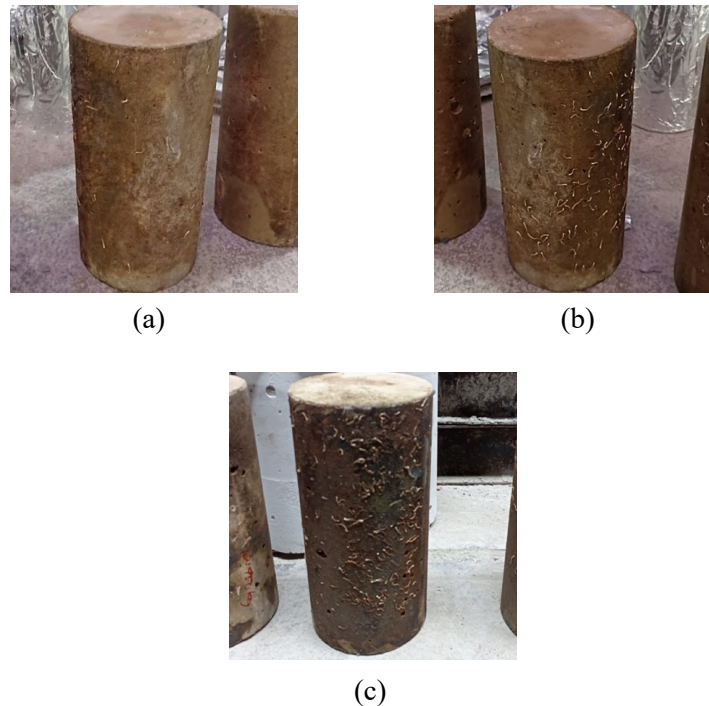
Tabel 3. Salinitas Air Payau di Budidaya *Mangrove* Cuku NyiNyi

Pengujian	Pengujian 2
18,5 gr/ltr	31 gr/ltr

Hasil pengujian salinitas air payau di Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi Universitas Lampung menunjukkan perbedaan yang signifikan. Saat pengujian pertama dilakukan selama banjir, kadar garamnya adalah 18.5 gr/ltr, yang menandakan dominasi air tawar dalam campuran. Namun, pada pengujian kedua yang dilakukan saat air laut surut, kadar garamnya meningkat menjadi 31 gr/ltr, menunjukkan dominasi air laut dalam campuran. Oleh karena itu, konsentrasi air payau di Budidaya *Mangrove* Cuku NyiNyi tidak dapat dipastikan karena bergantung pada kondisi serta perbandingan air tawar dan air laut yang bercampur. Rentang kadar garam yang ditemukan adalah antara 18.5 - 31 gr/ltr.

4.2. Pengamatan Visual

Bakteri anaerobik merupakan biota laut yang dapat menyebabkan korosi (Hartono dkk, 2012). Bakteri ini dapat mengubah garam sulfat pada air payau menjadi asam yang reaktif dan menyebabkan korosi (karat). Biota laut yang menempel pada permukaan beton yang terendam air payau dapat merusak beton salah satunya *Teredo*. *Teredo* ini biasa disebut tiram pengebor atau cacing kapal. Tidak seperti namanya yang cacing kapal, cacing ini dapat melubangi bahan keras seperti beton dan batu. *Teredo* ini mengeluarkan enzim yang dapat melunakkan atau menghancurkan kapur, selulosa, dan batu. *Teredo* ini menempel pada permukaan menggunakan sejenis protein. Pada beton umur 28 hari terendam air payau, *Teredo* mulai terlihat di permukaan beton (Gambar 3a). Pada beton umur 56 hari, *Teredo* mulai meluas menutupi sebagian permukaan beton dan beton mulai berwarna kehitam-hitaman (Gambar 3b). Pada beton umur 90 hari terendam air payau, seluruh permukaan beton sudah diselimuti oleh *Teredo* dan warna beton sudah kehitam-hitaman (Gambar 3c).



Gambar 3. Beton terendam air payau, (a) 28 hari; (b) 56 hari; (c) 90 hari.

Pertumbuhan *Teredo* pada permukaan beton dapat disebut dengan proses *biofouling* yaitu pertumbuhan dari organisme yang hidupnya menempel pada material/bahan terendam oleh air dengan kandungan garam. Menurut Chambers *et al.*, (2006) proses *biofouling* terbagi dalam empat tahapan. Tahap pertama ditandai dengan terdegradasinya lapisan terluar material yang terendam seiring dengan penyerapan bahan organik oleh *microfouling* yang menempel pada permukaan material tersebut. Tahapan kedua yaitu penempelan mikroorganisme secara terus-menerus sehingga menjadi larva dan spora. Proses ini merupakan awal dari pembentukan *biofouling* dipermukaan material. Tahapan ketiga yaitu pembentukan koloni yang diselimuti senyawa polimer. Tahapan keempat yaitu perkembangan menjadi *macrobiofouling* dan tumbuh secara besar. Proses ini melibatkan akumulasi organisme yang secara signifikan dapat mempengaruhi struktur dan kinerja material yang terendam air garam.

Proses *biofouling* ini dapat dikurangi dengan melapisi material cat minyak yang ditambahkan dengan ekstrak larutan kulit *mangrove* (Syahputra & Almuqaramah, 2019). Kulit *mangrove* memiliki kandungan senyawa metabolit sekunder seperti: Tanin, Alkaloid, Fenol, dan Peptida yang dapat mengurangi pertumbuhan *biofouling*. Senyawa Alkaloid dan Fenol bersifat racun sehingga dapat membunuh *biofouling*. Alkaloid bersifat basa dan banyak memiliki gugus atom hidrogen yang dapat menyebabkan anestesi atau bahkan kematian pada hewan, tergantung jumlah dosis yang diberikan. Fenol adalah senyawa dengan tingkat keasaman yang tinggi sehingga dapat menyebabkan kematian pada *biofouling*.

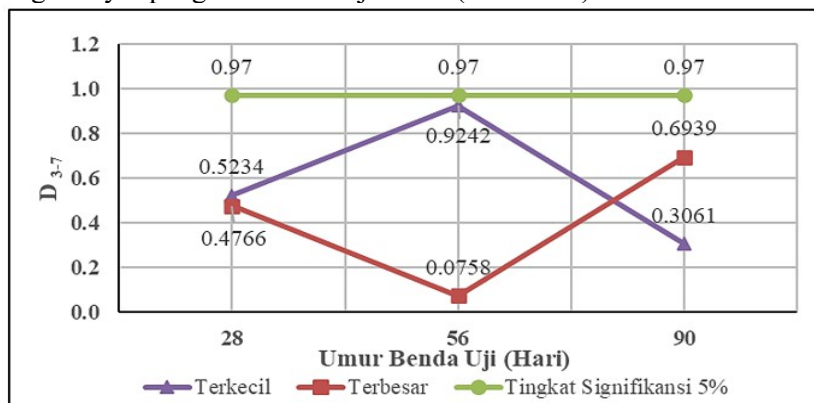
4.3. Hasil Pengujian Kuat Tekan

Hasil pengujian kuat tekan beton dengan *Compression Testing Machine* (CTM) sebagai berikut:

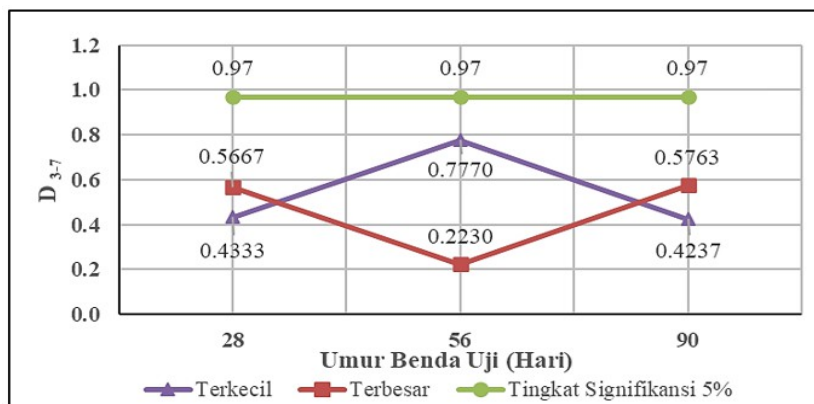
Tabel 4. Hasil Pengujian Kuat Tekan

Umur (Hari)	Kuat Tekan (MPa)	
	Terlindung	Terendam Air Payau
28	21,47	21,76
	22,59	20,26
	23,61	20,91
	25,58	16,79
56	22,15	18,88
	25,32	19,48
	25,63	16,56
90	26,12	15,97
	25,78	16,42

Dari data yang diperoleh, kemudian di analisis menggunakan kriteria dixon dengan tingkat signifikansi sebesar 5% yang bertujuan untuk mengidentifikasi data terkecil dan terbesar yang menyimpang dari benda uji beton (Gambar 4).



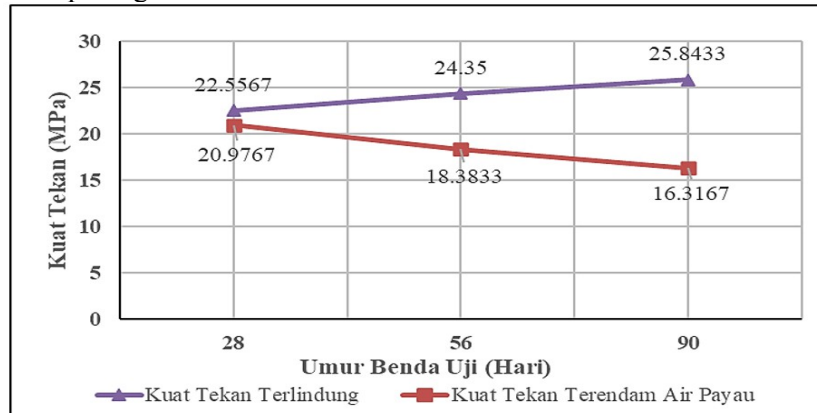
(a)



(b)

Gambar 4. *Outlying* kuat tekan beton, (a) terlindung; (b) terendam air payau.

Terlihat bahwa semua data baik beton terlindung dan terendam air payau berada dibawah ambang batas 0,97 (Gambar 4), oleh karena itu tidak ada yang menyimpang sehingga seluruh data dapat digunakan untuk menentukan kuat tekan beton.



Gambar 5. Perbandingan kuat tekan beton terlindung dan terendam air payau.

Gambar 5 menunjukkan bahwa pada beton terlindung dan beton terendam air payau memenuhi kuat tekan rencana yaitu sebesar 20,75 MPa. Beton terlindung terus mengalami kenaikan pada umur 56 hari dan 90 hari. Namun, pada beton terendam air payau kuat tekan mengalami penurunan pada umur 56 hari dan 90 hari. Penurunan pada beton terendam air payau sebesar 24.60% pada umur 56 hari dan sebesar 36,86% pada umur 90 hari dari kuat tekan beton terlindung. Hal ini berarti lingkungan yang agresif berdampak negatif terhadap kekuatan beton. Semakin lama beton direndam air payau semakin terjadi penurunan pada kuat tekan beton.

Penurunan kekuatan beton dalam lingkungan air payau dapat disebabkan oleh reaksi kimia antara komponen beton dengan unsur-unsur agresif dalam air payau seperti klorida dan sulfat. Interaksi antara air payau yang mengandung garam dengan komponen beton, seperti pasir, kerikil, dan semen dalam beton dapat menyebabkan pembentukan produk korosi yang merusak struktur mikro beton. Akibatnya, beton kehilangan sebagian dari kekuatannya. Selain itu, air payau juga dapat mengakibatkan perubahan dalam porositas beton. Penyerapan air dapat terjadi di mana air payau menembus ke dalam beton dan membawa garam-garam yang dapat merusak jaringan beton. Akibatnya, beton menjadi lebih porus, dan ini dapat menyebabkan penurunan kekuatan tekan.

Beton terendam air payau memiliki kuat tekan lebih rendah dari pada beton normal pada umur 21 hari. kuat tekan beton terendam air payau lebih rendah sebesar 22,70% dari beton normal (Miswar, 2011). Hal ini berarti sesuai dengan hasil penelitian bahwa air payau memiliki dampak negatif untuk merusak beton.

Menurut Wedhanto (2017), beton yang mulai terserang garam sulfat ditandai dengan peningkatan kuat tekan. Hal ini dimungkinkan karena biasanya serangan berasal dari kalsium kloroaluminat (garam friedls) yang mempunyai kemampuan mengembang. Saat memasuki pori-pori beton, garam friedls masih dalam keadaan mengembang, sehingga pori-pori pada beton akan dipaksa menjadi lebih kecil. Akibatnya jika dilakukan uji tekan maka kekuatannya akan meningkat. Hal ini terlihat pada pengujian umur 28 hari, kuat tekan beton mencapai kuat tekan rencana. Namun jika direndam lebih lama, garam friedls akan terus mengembang hingga memberikan tekanan yang terlalu besar pada rongga beton. Akibatnya pori-pori pada beton mendapat tekanan yang lebih tinggi, sehingga jika

dilakukan uji tekan maka kuat tekannya akan menurun. Peristiwa ini dapat diamati pada pengujian umur 56 hari dan 90 hari dimana terjadi penurunan kuat tekan beton.

Penurunan kekuatan tekan beton yang terpapar garam dikarenakan mutu beton yang rendah. Beton dengan mutu rendah memiliki permeabilitas yang tinggi, oleh karena itu air yang meresap dalam beton semakin banyak. Kandungan garam agresif dalam air payau akan mengakibatkan semen *portland* yang berfungsi sebagai perekat menjadi tidak stabil dan bereaksi dengan sangat kompleks. Pada beton dengan mutu tinggi, permeabilitas lebih baik sehingga penurunan kekuatan tekan beton tidak terlalu besar.

V. KESIMPULAN

Beton terendam air payau mengalami penurunan kuat tekan dibanding dengan beton terlindung. Hal ini disebabkan adanya kandungan klorida dan sulfat yang dapat berinteraksi dengan material penyusun beton yang merusak struktur didalam beton. Pada umur 28 hari, beton terendam air payau masih mencapai kuat tekan rencana. Namun, pada umur 56 dan 90 hari, beton terendam air payau mengalami penurunan dibanding dengan beton terlindung. Ini berarti lingkungan agresif air payau berdampak negatif terhadap beton.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. (2014). *SNI 15-7064: Semen portland komposit*. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. (2008). *SNI 1969: Cara uji berat jenis dan penyerapan air agregat kasar*. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. (2008). *SNI 1970: Cara uji berat jenis dan penyerapan air agregat halus*. Jakarta.
- Bachtiar, E., & Makbul, R. (2022). *High Strength Concrete di Lingkungan Laut*. Fakultas Teknik Unifa. Makassar.
- Chambers, L.D., Stokes, K.R., Walsh, F.C., & Wood, R.J.K. (2013). Modern Approaches to Marine Antifouling Coating. *Jurnal Surface and Coatings Technology*. Vol. 201, Hlm. 3642-3652.
- Hartono, H., Hartoko, A., Suhendro, B., Rochmadi, & Priyosulistyo, H. (2012). Analisis Penempelan Biota Laut pada Beton dan Diffusivitas Air Laut pada Beton. *Simposium Nasional RAPI XI FT UMS*.
- Miswar, K. (2011). Kuat Tekan Beton terhadap Lingkungan Agresif. *Jurnal Portal*. Vol. 3, No. 2. Hlm. 45.
- Nuroji. (2020). Pengaruh Air Rob terhadap Struktur Bangunan Tua. *Jurnal Teknologi Rekayasa*. Vol. 5, No. 2.
- Nursandah, A., Rifaldi, M., & Farichah, H. (2022). Pengaruh Air Payau Terhadap Kuat Tekan Beton. *Agregat*. Vol.7, No. 1.
- Susanto, D., Djauhari, Z., & Olivia, M. (2019). Karakteristik Beton Portland Composite Cement (PCC) dan Silica Fume untuk Aplikasi Struktur di Daerah Laut. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 15 (1), 1-11
- Syahputra, F. & Almuqaramah, Teuku, M.H. (2019). Penambahan Ekstra Larutan Kulit Mangrove pada Cat Minyak sebagai Antifouling. *Acta Aquatica: Aquatic Sciences Journal*, 37-40.
- Triana, Y.T., & Hidayah, Z. (2020). Kajian Potensi Rawan Banjir ROB dan Adaptasi Masyarakat di Wilayah Pesisir Utara Surabaya. *Juvenil*. Vol. 1, No. 1.
- Wedhanto, S. (2017). Pengaruh Air Laut terhadap Kekuatan Tekan Beton yang Terbuat dari Berbagai Merk Semen yang Ada di Kota Malang. *Jurnal Bangunan*. Vol. 22, No.2.