

Pengaruh Perendaman Air Laut Terhadap Kuat Tekan dan Permeabilitas Beton

Doni Irawan¹⁾
Chatarina Niken²⁾
Ahmad Zaenudin³⁾
Masdar Helmi⁴⁾

Abstract

Concrete is one of the most commonly used building materials in infrastructure, including buildings in marine environments. This research aims to provide an overview of the strength of concrete due to exposure to sea water and compare it with protected concrete. The research was carried out experimentally using the SNI 03 - 2834 - 2000 mix design method by testing the compressive strength and permeability of concrete with a total of 30 test objects. The concrete is given a protected treatment and submerged in sea water. The results of research on the compressive strength of protected concrete aged 28, 56 and 90 days were 22, 56 MPa, 24.35 MPa and 25.84 MPa respectively. Meanwhile, the compressive strength of concrete submerged in sea water aged 28, 56 and 90 days is 22.27 MPa, 17.67 MPa and 16.10 MPa. Meanwhile, testing the permeability of concrete using the natural method (immersing the concrete in sea water) showed that the permeability of concrete aged 28, 56 and 90 days was 27.7 mm, 35.0 mm and 40.7 mm. The greater the permeability of the concrete, the smaller the compressive strength of the concrete and the smaller the permeability of the concrete, the greater the compressive strength value. Sea water can reduce the compressive strength of concrete based on the soaking time. In this case it is recommended when building construction in a marine environment to make the concrete watertight.

Key words : compressive strength, concrete, concrete permeability, sea water.

Abstrak

Beton adalah salah satu bahan bangunan yang paling umum digunakan dalam infrastruktur termasuk bangunan yang ada dalam lingkungan laut. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui gambaran mengenai kekuatan beton akibat terpapar oleh air laut dan membandingkan dengan beton terlindung. Penelitian dilakukan secara eksperimental dengan metode *mix design* SNI 03 – 2834 – 2000 dengan pengujian kuat tekan dan permeabilitas beton dengan jumlah benda uji sebanyak 30 sampel. Beton diberikan perlakuan terlindung dan terendam air laut. Diperoleh hasil penelitian kuat tekan beton terlindung umur 28, 56 dan 90 hari berturut – turut sebesar 22, 56 MPa, 24,35 MPa dan 25,84 MPa. Sedangkan kuat tekan beton terendam air laut umur 28, 56 dan 90 hari sebesar 22,27 MPa, 17,67 MPa dan 16,10 MPa. Sedangkan pengujian permeabilitas beton menggunakan metode alami (merendam beton di air laut) diperoleh permeabilitas beton umur 28, 56 dan 90 hari sebesar 27,7 mm, 35,0 mm dan 40,7 mm. Semakin besar permeabilitas beton maka akan semakin kecil kuat tekan beton dan semakin kecil permeabilitas beton maka nilai kuat tekan akan semakin besar. Air laut dapat menurunkan kuat tekan beton berdasarkan lama perendaman. Dalam hal ini disarankan dalam pembangunan konstruksi dilingkungan laut untuk membuat beton kedap air.

Kata kunci : air laut, beton, kuat tekan, permeabilitas beton.

¹⁾ Mahasiswa S1 pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung.
Surel: donimrgose@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 Geofisika 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

Negara Indonesia merupakan negara maritim, dimana Indonesia memiliki kawasan teritorial laut yang sangat luas. Banyak bangunan konstruksi yang berada di perairan laut. Beton adalah salah satu bahan bangunan yang paling umum digunakan dalam infrastruktur dan bangunan. Faktor kunci yang mempengaruhi kualitas beton antara lain kondisi lingkungan di mana ia ditempatkan. Pembangunan struktur dan infrastruktur di sepanjang pantai dan di daerah banjir rob perlu mempertimbangkan pengaruh lingkungan laut pada elemen strukturnya. Beton yang digunakan untuk struktur bangunan dituntut memiliki sifat yang kuat dalam menahan beban dan harus memiliki durabilitas tinggi agar beton tidak cepat rusak dan dapat bekerja sebagai struktur untuk jangka waktu lama.

Di bidang struktur, durabilitas didefinisikan sebagai kemampuan untuk mempertahankan fungsi, stabilitas, dan estetika akibat paparan lingkungan tanpa menimbulkan biaya perawatan dan perbaikan yang signifikan selama masa layan yang direncanakan (Akmaluddin, 2018). Durabilitas suatu beton dapat berkurang antara lain disebabkan akibat polusi atmosfer di kota besar, serangan air laut, serangan sulfat, erosi gerakan air atau terbentuknya retak rambut (Murdock, 1991 dalam Indriyanto 2020).

Komponen air laut terdiri dari natrium (31%), magnesium (4%), klorida (55%), sulfat (8%), kalium (1%), kalsium (1%), dan sisanya 1% fluorida, bikarbonat, strontium, asam borat dan bromida (Anwar dkk., 2019). Garam-garam yang terkandung dalam air laut dapat bereaksi secara kimiawi dengan semen sehingga mengubah atau memperlambat proses pengikatan semen dan dapat mengurangi kekuatan beton. Selain adanya reaksi kimia antara semen dan air laut, kristalisasi garam dalam rongga beton dapat mengakibatkan kehancuran karena adanya tekanan kristalisasi. Air laut dapat masuk ke dalam beton dengan adanya gaya kapiler, sehingga serangan kimiawi terjadi jika air laut dapat masuk ke dalam rongga beton (Meliana dkk, 2022).

Permeabilitas mengacu pada kemampuan beton untuk memungkinkan cairan melewatinya. Oleh karena itu, sifat permeabilitas beton ini sangat penting bagi beton yang terendam air laut. Serangan kimia yang terjadi pada beton berawal dari masuknya air laut ke dalam beton melalui pori-pori beton. Dengan adanya fenomena ini dan mengingat bahwa banyak sekali konstruksi di Indonesia yang terbuat dari beton yang terpapar oleh air laut, maka diperlukan penelitian yang membahas tentang pengaruh perendaman air laut terhadap permeabilitas beton dan kuat tekan beton.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Beton

Menurut SNI 2847-2013, beton terdiri dari campuran semen portland (PC) atau semen hidrolis, agregat kasar, agregat halus, air dan bahan tambahan yang dapat ditambahkan sesuai kebutuhan. Bahan tambahan (*admixture*) tersebut dapat berbentuk limbah cair, bubuk, bahan kimia atau non-kimia. Beton merupakan bahan konstruksi yang memiliki daya tahan dan kekuatan yang tinggi, mampu menahan pengaruh pelapukan hampir disemua kondisi lingkungan. Struktur beton pada umumnya mempunyai ciri utama kuat tekan yang tinggi dan kuat tarik yang rendah.

Semen

Semen adalah bahan campuran yang menjadi aktif secara kimia setelah kontak dengan air. Penelitian ini menggunakan jenis semen PCC (*Portland Composite Cement*). 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 (SNI 15-2049-2004). Bahan-bahan anorganik tersebut merupakan bahan-bahan mineral bersifat pozzolanik. Pada umumnya semen PCC memiliki panas hidrasi rendah sampai sedang, tahan terhadap serangan sulfat, kekuatan tekan awal kurang, namun kekuatan akhir lebih tinggi (Susanto dkk,2019).

Agregat Kasar

Menurut (SNI 1970-2008), butiran kasar adalah hasil penguraian alami batuan atau batu pecah dari industri penggalian dan memiliki ukuran partikel dari 4,75 mm (No. 4) hingga 40 mm (No 1½ inci). SK SNI T-15-1990-03 memuat syarat-syarat agregat kasar pada tiga zona atau area seperti terlihat pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Batas Gradasi Agregat Kasar

Lubang ayakan (mm)	Persentase berat butir yang lewat ayakan		
	4,8 – 38	4,8 – 19	4,8 – 9,6
38	95 – 100	100	100
19	35 – 70	95 – 100	100
9,6	10 – 40	30 – 60	50 – 85
4,8	0 – 5	0 – 10	0 – 10

(Sumber : SK SNI T 15-1990-03)

Agregat Halus

Menurut (SNI 03 - 2847 - 2002), agregat halus adalah pasir alam yang merupakan hasil penguraian alami dari batuan atau pasir yang terjadi di industri batu pecah, dengan ukuran butir maksimal 5,0 mm. SK SNI T-15-1990-03 memuat syarat-syarat agregat halus yang dikelompokkan menjadi empat zona atau wilayah seperti terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Pembagian Zona Agregat Halus

Lubang Ayakan (mm)	Persentase berat butir yang lewat ayakan			
	I	II	III	IV
10	100	100	100	100
4.8	90 – 100	90 – 100	90 – 100	95 – 100
2.4	60 – 95	75 – 100	85 – 100	95 – 100
1.2	30 – 70	55 – 90	75 – 100	90 – 100
0.6	15 – 34	35 – 59	60 – 79	80 – 100
0.3	5 – 20	8 – 30	12 – 40	15 – 50
0.15	0 – 10	0 – 10	0 – 10	0 – 15

(Sumber : SK SNI T 15-1990-03)

Air

Dalam pembuatan beton, air digunakan sebagai pereaksi semen menjadi pasta sehingga menjadi campuran beton dan menjadi mudah dikerjakan. Air yang digunakan harus

bersih, tidak mengandung minyak, asam, alkali, garam, zat organik atau bahan lainnya yang bersifat perusak (Purwanto dkk, 2020). Pada umumnya air dapat dipakai untuk campuran beton, namun air yang dapat digunakan untuk adukan beton tidak berarti dapat diminum.

Air Laut

Air laut yang merupakan campuran dari 96,5% air murni dan 3,5% material lainnya seperti garam, bahan organik dan partikel-partikel tak terlarut. Air laut memiliki kadar garam rata-rata sekitar 35.000 ppm atau 35 g/liter, artinya dalam 1 liter air laut (1000 ml) terdapat 35 gram garam. Kandungan kimia utama dari air laut adalah klorida (Cl), natrium (Na), magnesium (Mg), sulfat (SO₄) (Zulkarnain & Kamil, 2021). Proses hidrasi semen, selain menghasilkan senyawa kalsium silikat hidrat (C-S-H), yang bersifat sebagai perekat juga menghasilkan kalsium hidroksida atau Ca(OH)₂. Pengaruh kimia air laut terhadap beton terutama disebabkan oleh serangan magnesium sulfat (MgSO₄), yang diperburuk dengan adanya kandungan klorida didalamnya. Reaksi keduanya akan menghambat perkembangan beton. Akhirnya pada bagian beton yang terserang oleh sulfat akan menjadi lunak membentuk lapisan seperti lumpur (Wedhanto, 2017) .

Kuat Tekan

Kuat tekan beton adalah besarnya tegangan per satuan luas yang menyebabkan beton runtuh ketika dikenai gaya tekan. Seiring dengan penambahan umur, beton akan semakin mengeras dan akan mencapai kekuatan rencana (f'_c) pada usia 28 hari yang akan menghasilkan kuat tekan yang sempurna atau optimal dan terus mengalami peningkatan kuat tekan (Prayuda & Pujianto, 2018). Kuat tekan beton ditentukan dengan mengatur perbandingan semen, agregat kasar, agregat halus dan air. Kelebihan air meningkatkan kemampuan kerja tetapi mengurangi kekuatan (Khonando dkk, 2019). Rumus yang digunakan untuk menghitung besarnya kuat tekan beton sebagai berikut:

$$f'_c = \frac{P}{A}$$

Dengan :

f'_c : Kuat tekan (MPa)

P : Beban tekan (N)

A : Luas penampang benda uji (mm²)

Permeabilitas

Permeabilitas beton adalah kemudahan air untuk menembus beton. Jika beton dapat ditembus air, maka dikatakan permeabel. Jika sebaliknya, beton dianggap kedap air (*impermeabel*). Permeabilitas beton terjadi dalam dua cara yaitu terjebaknya gelembung udara akibat pemadatan beton yang belum sempurna dan rongga yang terbentuk akibat air dalam campuran beton yang menguap pada saat pelaksanaan pekerjaan beton. Akibat adanya rongga dan udara pada beton keras maka beton tidak kedap terhadap air. Beton yang tidak kedap air mengakibatkan tulangan pada beton akan korosi (Rizky & Saetan, 2019).

III. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimental yang dilakukan untuk mendapatkan data-data hasil penelitian, yaitu kuat tekan dan permeabilitas. Pengujian material dilakukan sesuai dengan prosedur yang ada pada ASTM (*American Society for Testing and Material*) dan SNI. Pembuatan rencana campuran beton dengan menggunakan metode SNI 03 – 2834 – 2000 dengan mutu rencana K-250 atau setara dengan $f_c' = 20,75$ MPa. Pada penelitian ini digunakan 2 variasi benda uji, beton terlindung dan beton berada di lingkungan laut. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Bahan dan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung dan Laboratorium Terpadu Universitas Indonesia. Lingkungan laut yang digunakan untuk tempat penempatan sempel beton dipilih Pelelangan Ikan (TPI) Lempasing, Teluk Betung Bandar Lampung.

Benda Uji

Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini berbentuk silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm berjumlah 27 benda uji. Pengujian permeabilitas beton dengan standar DIN 1084 menggunakan benda uji balok dengan lebar 200 mm, panjang 200 mm dan tinggi 120 mm.

Tabel 3. Rincian Benda Uji

Pengujian	Umur Pengujian (hari)		
	28	56	90
Kuat tekan	BTL.1.28	BTL.1.56	BTL.1.90
	BTL.2.28	BTL.2.56	BTL.2.90
	BTL.3.28	BTL.3.56	BTL.3.90
	BN.1.28	BN.1.56	BN.1.90
	BN.2.28	BN.2.56	BN.2.90
	BN.3.28	BN.3.56	BN.3.90
	BTL.4.28	BTL.4.56	BTL.4.90
	BTL.5.28	BTL.5.56	BTL.5.90
	BTL.6.28	BTL.6.56	BTL.6.90
Pengujian permeabilitas	BN.Bk.7.28	-	-
	BN.Bk.8.28	-	-
	BN.Bk.9.28	-	-

Keterangan :

- BN = beton normal
- BN.Bk = beton normal (balok)
- BTL = beton terendam air laut

Analisis Data Hasil Penelitian

Analisis data dilakukan menggunakan kriteria *dyxon* berdasarkan ASTM 178-02. Cara uji *dyxon* adalah sebagai berikut data disusun mulai dari data terkecil sampai data terbesar. Untuk jumlah data 3 – 7, uji *dyxon* dihitung dengan rumus:

- Untuk data terendah $\frac{X_2 - X_1}{X_n - X_1} > D_n$
- Untuk data tertinggi $\frac{X_n - X_{n-1}}{X_n - X_1} > D_n$

Jika $D_{hitung} > D_{tabel}$, maka data tersebut merupakan pencilan dan harus dibuang. Hal tersebut dilakukan terhadap data selanjutnya hingga tidak ada lagi data pencilan. Data yang diperoleh dari semua pengujian dilakukan pemeriksaan menggunakan kriteria *dyxon*. Dari data 3 buah benda uji dilakukan pemeriksaan data nilai terbesar dan terkecil dengan membandingkan nilai pada taraf signifikan 5%. Semua data dapat diterima apabila nilai data terbesar dan data terkecil berada di bawah nilai taraf signifikan 5% untuk 3 sampel yaitu sebesar 0,97 (ASTM E178-02).

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Material

Data hasil pengujian material dapat dilihat pada Tabel 4 berikut ini.

Tabel 4. Hasil Pengujian Material Campuran Beton

Jenis Pengujian	Material yang Dipakai	Nilai Hasil Pengujian	Standar ASTM
Kadar air	Agregat halus	0,88 %	0 – 1 %
	Agregat kasar	2,35 %	0 – 3 %
Berat jenis	Agregat halus	2,51	2,0 – 2,9
	Agregat kasar	2,66	2,5 – 2,9
	Semen PCC	2,91	3,0 – 3,2
Penyerapan	Agregat halus	1,03 %	1 – 3 %
	Agregat kasar	2,22 %	1 – 3 %
Modulus kehalusan	Agregat halus	2,97	2,3 – 3,1
	Agregat kasar	6,66	6 – 8
Berat volume	Agregat halus	1535 g/m ³	-
	Agregat kasar	1537,9 g/m ³	-
Kadar lumpur	Agregat halus	2,67 %	< 5 %
Kandungan zat organis	Agregat halus	Warna no. 2	< warna no.3
Waktu pengikatan semen	Semen PCC	138 menit	>60 menit
Kehalusan semen	Semen PCC	Saringan no. 100 tertahan 0 %	0 %
		Saringan no 200 tertahan 16,2 %	< 22%

Dari Tabel 4 dapat dikatakan bahwa material beton memenuhi persyaratan.

Perhitungan *Mix Design*

Kebutuhan material penyusun beton dihitung menggunakan acuan SNI 03 – 2834 – 2000. *Slump* rencana digunakan sebesar 60 – 180 m. Komposisi kebutuhan material penyusun beton per m³ untuk mutu K-250 seperti Tabel 5.

Tabel 5. Proporsi Komposisi Material Penyusun Beton Per m³

No	Material	Jumlah (kg)
1	Semen	379,63
2	Air	205
3	Agregat kasar	1013,75
4	Agregat halus	741,63
	Jumlah	2340,01

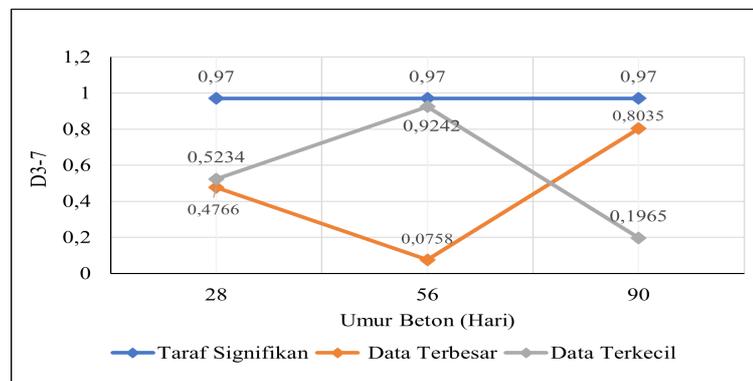
Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Hasil pengujian kuat tekan beton terlindung disajikan dalam Tabel 6. berikut ini.

Tabel 6. Kuat Tekan Beton Terlindung

Umur Beton	Nama Sampel	Kuat Tekan (MPa)	Rata - Rata Kuat Tekan (MPa)	Persentase Penurunan/Kenaikan
28	BN.1.28	21,47	22,56	0,00%
	BN.2.28	22,59		
	BN.3.28	23,61		
56	BN.1.56	25,58	24,35	7,36%
	BN.2.56	22,15		
	BN.3.56	25,32		
90	BN.1.90	25,63	25,84	12,72%
	BN.2.90	26,12		
	BN.3.90	25,78		

Berdasarkan data di atas dilakukan pengolahan data menggunakan kriteria *dyxon*. Hasil pengolahan data kuat tekan beton terlindung disajikan pada Gambar 1.



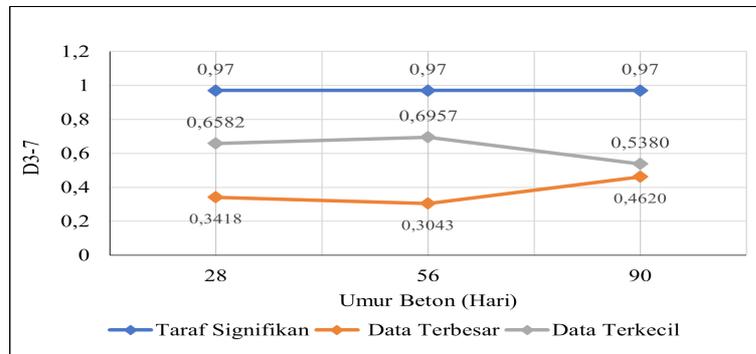
Gambar 1. Outlying kuat tekan beton terlindung.

Hasil pengolahan nilai data terbesar dan data terkecil dibawah taraf signifikan 5%. Sehingga semua data dapat diterima (Gambar 1). Berdasarkan Tabel 6. nilai kuat tekan beton umur 28 hari sebesar 22,56 MPa. Kuat tekan beton memenuhi target kuat tekan rencana yaitu K-250 (20,75 MPa). Kuat tekan beton umur 56 dan 90 hari sebesar 24,35 MPa dan 25,84 MPa. Data hasil pengujian kuat tekan beton terendam air laut disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Kuat Tekan Beton Terendam Air Laut

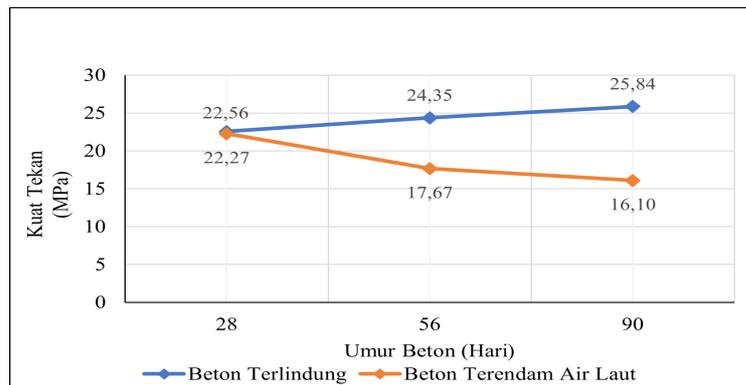
Umur Beton	Nama Sampel	Kuat Tekan (MPa)	Rata - Rata Kuat Tekan (MPa)	Persentase Penurunan/Kenaikan
28	BTL.1.28	22,35	22,27	0,00%
	BTL.2.28	21,83		
	BTL.3.28	22,62		
56	BTL.1.56	17,41	17,67	-26,01%
	BTL.2.56	17,87		
	BTL.3.56	17,73		
90	BTL.1.90	16,87	16,10	-38,30%
	BTL.2.90	16,14		
	BTL.3.90	15,29		

Berdasarkan data di atas dilakukan pengolahan data menggunakan kriteria *dyxon*. Hasil pengolahan data kuat tekan beton terendam air laut disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. *Outlying* kuat tekan beton terendam air laut.

Hasil pengolahan nilai data terbesar dan data terkecil dibawah taraf signifikan 5%. Sehingga semua data dapat diterima (Gambar 2). Berdasarkan Tabel 7 dapat dilihat bahwasannya nilai kuat tekan beton terendam air laut menurun seiring dengan bertambahnya umur beton. Kuat tekan beton umur 28 hari sebesar 22,27 MPa, umur 56 hari sebesar 17,67 MPa dan umur 90 hari sebesar 16,10 MPa. Perbandingan kuat tekan beton terlindung dan kuat tekan beton terendam air laut disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Perbandingan kuat tekan beton terlindung dan terendam air laut.

Beton terlindung mempunyai kuat tekan lebih tinggi dibandingkan beton terendam air laut. Terhadap kuat tekan beton terlindung, kuat tekan beton terendam air laut pada umur 28 hari, 56 hari dan 90 hari mengalami penurunan berturut – turut 1,30%, 37,8% dan 60,52%. Pengaruh waktu perendaman beton dalam air laut dapat mempengaruhi kualitas beton, semakin lama beton terendam air laut maka kuat tekan beton akan terus menurun seiring bertambahnya umur beton (Wora & Segu, 2014). Beton yang baru saja terendam air laut akan diserang oleh garam sulfat yang akan meningkatkan kuat tekan beton. Hal ini disebabkan oleh mengembangnya kalsium kloroaluminat (garam friedls) pada rongga – rongga beton yang mendesak beton menjadi lebih padat, akibatnya kuat tekan awal beton meningkat. Namun apabila direndam lebih lama garam friedls akan terus mengembang menjadikan rongga – rongga beton mengalami tekanan yang lebih besar mengakibatkan kuat tekan beton menurun (Wedhanto, 2017).

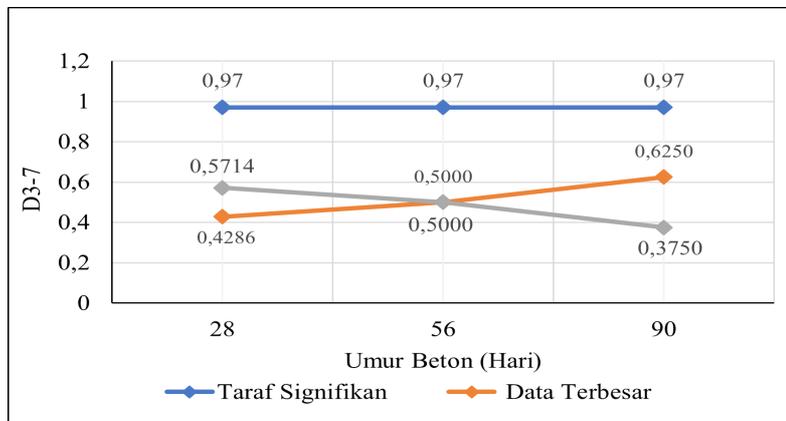
Hasil pengujian permeabilitas beton terendam air laut (alamiah)

Pada pengujian ini benda uji direndam didalam air laut. Benda uji hanya diletakkan di dalam air laut Dermaga Teluk Betung, Lampung. Tekanan air pengujian permeabilitas beton menggunakan metode ini berasal dari ombak laut di posisi dermaga dimana kapal datang dan pergi untuk bersandar. Pengujian ini dilakukan pada umur beton 28, 56, dan 90 hari. Hasil pengujian permeabilitas beton dengan metode merendam beton di air laut dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Pengujian Permeabilitas Beton Terendam Air

Umur beton	Nama sampel	Penetrasi Air (cm)	Rata - Rata Penetrasi Air (cm)	Laju Permeabilitas m/dt	Persentase Penurunan/Kenaikan
28	BTL.4.28	2,80	2,77	$1,53 \times 10^{-8}$	0,00%
	BTL.5.28	2,40			
	BTL.6.28	3,10			
56	BTL.4.56	3,50	3,50	$1,45 \times 10^{-8}$	20,95%
	BTL.5.56	3,70			
	BTL.6.56	3,30			
90	BTL.4.90	4,00	4,07	$1,39 \times 10^{-8}$	31,97%
	BTL.5.90	3,70			
	BTL.6.90	4,50			

Berdasarkan data pada Tabel 8 dilakukan pengolahan data menggunakan kriteria *dyxon*. Hasil pengolahan data menggunakan metode *dyxon* disajikan pada Gambar 4.

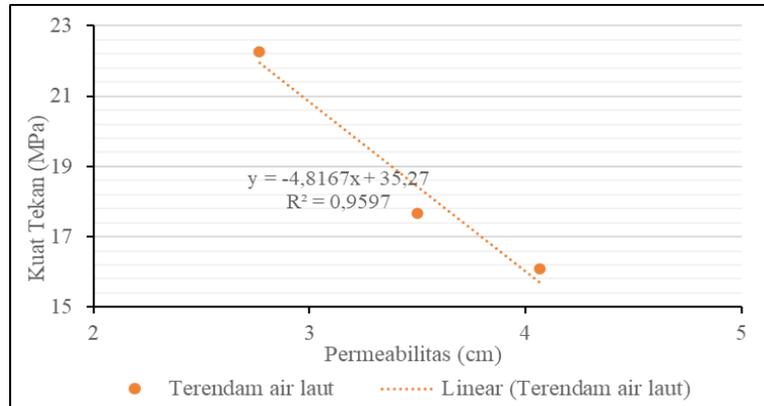


Gambar 4. *Outlying* permeabilitas beton terendam air laut.

Berdasarkan Gambar 4 data terkecil dan data terbesar kurang dari taraf signifikan 5%, sehingga semua data diterima. Pada Tabel 8 terlihat permeabilitas beton yang terendam air laut semakin lama semakin dalam. Pada lama perendaman 28 hari permeabilitas beton sebesar 2,77 cm. Pada umur 56 hari dan 90 hari permeabilitas beton berturut – turut sebesar 3,50 cm dan 4,07 cm. Berdasarkan SNI 03-2914-1992 batas maksimum agresif sedang sebesar 50 mm dan agresif kuat sebesar 30 mm. Air agresif sedang adalah air yang mengandung limbah industri, air payau, air laut. Menurut ACI 301-729 (revisi 1975) (dalam Neville dan Brooks, 1987) nilai koefisien permeabilitas maksimum adalah $1,5 \cdot 10^{-11}$ m/dt. Berdasarkan Tabel 9 nilai laju permeabilitas beton umur 28, 56 dan 90 hari lebih besar dari $1,5 \cdot 10^{-11}$ m/dt sehingga beton dapat dikatakan tidak kedap air berdasarkan ACI 301-729.

Hubungan Kuat Tekan dan Permeabilitas Beton

Penelitian ini akan menyajikan hubungan kuat tekan beton dan permeabilitas beton yang terendam air laut secara langsung di Lempasing, Teluk Betung, Lampung.



Gambar 5. Hubungan kuat tekan beton dan permeabilitas beton.

Gambar 5. menunjukkan bahwa kuat tekan beton menurun seiring bertambahnya permeabilitas beton. Hubungan kuat tekan dan permeabilitas beton berbentuk linier dengan nilai R^2 sebesar 0,9597. Nilai R^2 mendekati angka 1 memiliki arti bahwa persamaan dari hubungan keduanya memiliki nilai *error* yang sangat kecil. Beton dengan permeabilitas tinggi berarti memiliki rongga atau pori – pori yang lebih banyak sehingga kepadatan beton akan menurun, begitu pula dengan kuat tekan dari beton tersebut (Khonado dkk, 2019).

V. KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut

- Kuat tekan beton terlindung pada umur 28, 56 dan 90 hari berturut – turut adalah 22,56 MPa, 24,35 MPa dan 25,84 MPa.
- Kuat tekan beton terendam air laut pada umur 28, 56 dan 90 hari berturut – turut adalah 22,27 MPa, 17,67 MPa dan 16,10 MPa. Penurunan kuat tekan terhadap umur 28 hari sebesar 26,01% dan 38,30%.
- Permeabilitas beton menggunakan metode alami (merendam beton di air laut) diperoleh permeabilitas beton pada umur 28 hari sebesar 27,7 mm, umur 56 hari sebesar 35,0 mm dan pada umur 90 hari sebesar 40,7 mm.
- Permeabilitas beton sangat mempengaruhi nilai kuat tekan beton. Semakin besar permeabilitas beton maka akan semakin kecil kuat tekan beton dan semakin kecil permeabilitas beton maka nilai kuat tekan akan semakin besar. Sehingga hubungan keduanya menghasilkan garis linier.
- Air laut memberikan dampak buruk bagi kuat tekan beton. Air laut dapat menurunkan kuat tekan beton berdasarkan lama perendaman.

DAFTAR PUSTAKA

- Akmaluddin, A., & Murtiadi, S. 2018. *Struktur Balok Beton Bagian I Struktur Beton Bertulang*. UPT. Mataram University. Mataram.
- Anwar, C., Bachtiar, E., & Nur, N. K. 2019. Sifat Mekanik Beton Serat Ijuk yang Terendam Air Laut. *Indonesian Journal of Fundamental Sciences* Vol, 5(2).

- ASTM, E. 178-02, *Standard Practice for Dealing with Outlying Observations*, 2002 Am. Soc. for Testing Materials.
- Indriyanto, L. A., Saputra, A., & Sulistyono, D. 2020. Pengaruh Air Laut Pada Masa Perawatan Terhadap Infiltrasi Ion Klorida Pada Beton dengan Penambahan Fly Ash 12, 5%. *Jurnal Riset Rekayasa Sipil*, 3(2), 61-67.
- Khonado, M. F., Manalip, H., & Wallah, S. E. 2019. Kuat Tekan dan Permeabilitas Beton Porous Dengan Variasi Ukuran Agregat. *Jurnal Sipil Statik*, 7(3).
- Meliana, I. M., & Putri, B. A. S. K. 2022. *Pengaruh Lingkungan Agresif Pada Beton Ditinjau Terhadap Kuat Tekan dan Absorpsi* (Doctoral dissertation, Universitas Katholik Soegijapranata Semarang).
- Prayuda, H., & Pujiyanto, A. 2018. Pengaruh Perawatan (Curing) Perendaman Air Laut dan Air Tawar Terhadap Kuat Tekan Beton. *J. Ilm. Tek. Sipil*, 22, 130-139
- Rizky, C. B., & Saelan, P. 2019. Studi Mengenai Pengaruh Faktor Air-Semen dan Nilai Slump Beton Segar terhadap Permeabilitas Beton. *Reka Racana: Jurnal Teknik Sipil*, 5(4), 33.
- SK SNI T-15-1990-03. 1990. *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan. Indonesia, 95.
- SNI 03-2847. 2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung SNI 03-2847-2002*. Bandung Badan Stand. Nas, 251.
- SNI 15-2049. 2004.: *Semen Portland*. Badan Standardisasi Indonesia. Bandung.
- SNI 1970. 2008. *Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*. BSN, Jakarta.
- SNI 2847. 2013. *Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung*. Jakarta: Dewan Standardisasi Indonesia.
- 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.
- Wedhanto, S. 2017. Pengaruh Air Laut Terhadap Kekuatan Tekan Beton yang Terbuat dari Berbagai Merek Semen yang Ada di Kota Malang. *Bangunan*. 22(2), 21-30.
- Wora, M., & Segu, Y. 2014. Pengaruh Waktu Perendaman Beton Dalam Air Laut Dapat Menurunkan Kualitas Beton. *TEKNOSIAR*, 8(2), 23-34.
- Zulkarnain, F., & Kamil, B. 2021. Perbandingan Kuat Tekan Beton Menggunakan Pasir Sungai sebagai Agregat Halus Dengan Variasi Bahan Tambah Sika Fume Pada Perendaman Air Laut. *In Prosiding Seminar Nasional Penelitian LPPM UMJ* (Vol. 2021).