

Mikrostruktur, Porositas Dan Sifat Mekanik Beton Curing Air Laut

Erniati Bachtiar^{1*}, Asri Mulya Setiawan¹, Arman Setiawan², Pratiwi Fudlailah³

Universitas Fajar¹

Universtas Bosowa²

Tanri Abeng University³

Correspondence: erni@unifa.ac.id^{1}

Abstrak. Ketika membangun bangunan di daerah pesisir, kontak antara material yang digunakan dan udara laut terkadang tidak dapat dihindari. Sebelum beton mencapai kekuatan maksimum pada usia 28 hari, beton dapat terpapar kontaminasi udara laut. Akibatnya, reaksi kimia yang melibatkan semen, udara, dan udara laut tidak dapat dihindari. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui struktur mikro, porositas, dan sifat mekanik (kuat tekan dan kuat tarik belah) dari beton mutu tinggi dengan menggunakan metode Self Compacting Concrete. Dua variasi sampel beton dipertimbangkan, yang melibatkan perbedaan dalam air curing yang digunakan dan usia beton. Terdapat dua variasi curing: beton yang diawetkan dengan air tawar dan beton yang diawetkan dengan air laut. Umur beton dipantau pada 1, 3, 7, 28, dan 90 hari. Dalam analisis struktur mikro beton yang diawetkan dengan air laut, senyawa klorida, ettringite, dan garam Friedel diidentifikasi. Kuat tekan dan kuat tarik belah menunjukkan peningkatan seiring dengan bertambahnya umur curing beton, dan berbanding terbalik dengan porositas beton. Sifat mekanis beton yang diawetkan dengan air tawar sedikit lebih rendah dibandingkan dengan beton yang diawetkan dengan air laut. Namun, perbedaannya dapat diabaikan, yang berarti keduanya hampir sama pada umur 28 hari dan 90 hari..

Kata Kunci : Beton; Struktur Mikro; Porositas; Sifat Mekanis Pengeringan; Air laut.

Abstract. When constructing buildings in coastal areas, contact between the materials used and sea air is sometimes unavoidable. Before the concrete reaches its maximum strength at the age of 28 days, it can be exposed to contamination from sea air. Consequently, chemical reactions involving cement, air, and sea air become inevitable. The research aims to ascertain the microstructure, porosity, and mechanical properties (compressive strength and tensile strength) of high-performance concrete utilizing the Self Compacting Concrete method. Two variations of concrete samples are considered, involving differences in the curing water used and the age of the concrete. There are two curing variations: concrete cured with fresh water and concrete cured with seawater. The concrete's age is monitored at 1, 3, 7, 28, and 90 days. In the microstructure analysis of seawater-cured concrete, chloride compounds, ettringite, and Friedel's salt were identified. Both compressive strength and splitting tensile strength show an increase with the concrete curing age, and they are inversely proportional to the concrete's porosity. The mechanical properties of freshwater-cured concrete are slightly lower than those of seawater-cured concrete. However, the difference is negligible, meaning they are nearly identical at both 28 days and 90 days.

Keywords: Concrete; Microstructure; Porosity; Mechanical Properties Curing; Seawater.

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia. Air laut, air yang membentuk samudra dan lautan, menutupi lebih dari 70 persen permukaan bumi. Enam ion air laut yang paling melimpah adalah klorida, natrium, sulfat, magnesium, kalsium dan kalium. Ion-ion ini membentuk sekitar 99 persen dari semua garam laut (Duxbury, Byrne and Mackenzie, 2020). Pembangunan infrastruktur sebagai sarana dan prasarana tidak bisa terhindari dilaksanakan pada daerah lingkungan laut. Salah satu masalah yang paling sering terjadi adalah pembangunan di daerah yang ekstrim, seperti lingkungan yang langsung terpapar air laut.

Dalam membangun infrastruktur pendukung, potensi material yang digunakan untuk terkontaminasi air laut terkadang tidak dapat dihindari. Dengan kata lain, dalam membangun bangunan di wilayah pesisir, kontak antara material yang digunakan dengan air laut terkadang tidak dapat dihindari. Sebelum beton mengeras atau mencapai kekuatan maksimum pada umur 28 hari, beton dapat terkontaminasi air laut; Dengan demikian, reaksi kimia antara semen, air, dan air laut tidak dapat dihindari. Selama proses hidrasi, beton terus berjalan dari 1 hari sampai umur 28 hari. Jika

proses curing beton baik maka proses hidrasi akan optimal sehingga kualitas beton yang diharapkan akan sesuai. Namun, jika beton tidak dirawat dengan baik, proses hidrasi tidak akan optimal. Dengan bertambahnya umur, maka akan terjadi penurunan kekuatan dan peningkatan porositas dan daya serap pada beton (Erniati, 2018).

Pembuatan campuran beton menggunakan air tawar namun pada saat pengecoran bangunan di lingkungan agresif maka tidak bisa dihindari akan masuknya air laut pada campuran beton. Pengecoran proyek pembangunan terletak pada lingkungan agresif seperti tepi/atas/pada laut maka pada saat penuangan campuran dalam bekisting tidak bisa dihindari akan masuknya air laut sebelum beton mengeras. Peran klorida dalam semen memiliki sejarah yang beragam, di satu sisi, klorida telah lama digunakan untuk mempercepat hidrasi semen dan penguatan kekuatan sedangkan di sisi lain, klorida menghilangkan baja tertanam dari perlindungan korosi yang biasanya dikembangkan di lingkungan semen bebas klorida (Sultan and Djameluddin, 2017).

Kekuatan bangunan yang berada di lingkungan laut akan berkurang karena adanya beban pada struktur di lingkungan dan akibat lingkungan agresif yang memiliki ion klorida yang terkandung dalam air laut yang masuk ke dalam beton (Sultan and Djameluddin, 2017). Pengecoran pada proyek pembangunan terletak pada lingkungan agresif seperti tepi/atas/pada laut maka pada saat penuangan campuran dalam bekisting tidak bisa dihindari akan masuknya air laut sebelum beton mengeras. Penelitian sebelumnya (Sultan and Djameluddin, 2017) bahwa peran klorida dalam semen memiliki sejarah yang beragam, di satu sisi, klorida telah lama digunakan untuk mempercepat hidrasi semen dan penguatan kekuatan sedangkan di sisi lain, klorida menghilangkan baja tertanam dari perlindungan korosi yang biasanya dikembangkan di lingkungan semen bebas klorida. Perlu beton berkinerja tinggi untuk konstruksi beton lingkungan agresif. Beton berkinerja sangat tinggi biasanya didefinisikan sebagai material beton yang memiliki kekuatan tekan lebih dari 150 MPa dan daya tahan yang unggul. Beton untuk daerah agresif seyogyanya menggunakan beton berkinerja sangat tinggi. Pengaruh klorida pada beton telah diteliti oleh beberapa peneliti sebelumnya (Chrismaningwang, Basuki and Sambowo, 2017; J. G. Teng *et al.*, 2019; J.-G. Teng *et al.*, 2019; Fayed, Mansour and Khalil, 2021; Bachtiar *et al.*, 2022), bahwa klorida memberikan efek pada sifat mekanik suatu beton. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efek air laut terhadap mikrostruktur, porositas, kuat tekan, kuat tarik belah pada beton yang berkinerja tinggi.

METODE

Bahan

Pada penelitian ini menggunakan bahan lokal yakni Semen PCC (*Portland Cement Composite*), air (air tawar dan air laut), batu pecah, pasir dan superplasticizer.

Desain

Sampel beton berkinerja tinggi yang dibuat dengan menggunakan metode Self Compacting Concrete. Perhitungan mix design SCC dengan menggunakan prinsip EFNARC 0,85 – 1,1 yakni rasio volume air per semen 1,1 atau sama dengan menggunakan Faktor Air Semen (FAS) sebesar 0,35.

Eksperimen

Sampel dibuat dalam bentuk silinder berukuran 10 cm x 20 cm. Benda uji dibuat dengan variasi air pencampur air tawar, air yang digunakan untuk perawatan/curing benda uji air tawar, air laut dan lama perawatan 1,3,7,28 dan 90 hari. Ada 2 jenis beton yang dibuat yakni 1) BFF menggunakan air tawar sebagai air pencampur dan air curing, 2) BFS menggunakan air tawar sebagai air pencampur dan air laut sebagai air curing. Sampel dibuat masing-masing 3 sampel dalam 1 variabel baik umur maupun variabel curing. Adukan di masukkan dalam silinder setelah dilakukan pengujian beton segar dan memenuhi sebagai beton SCC (*self compacting concrete*).

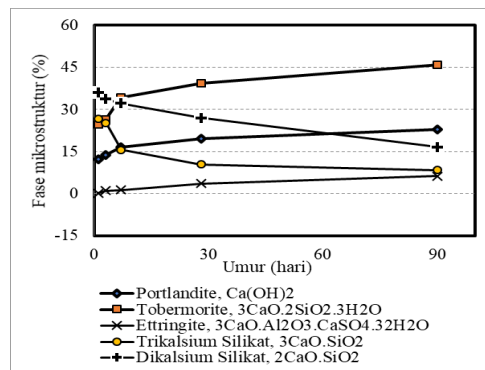
Setelah 24 jam, benda uji dibuka dari cetakan kemudian dilakukan perawatan beton. Perawatan beton dilakukan di bak air yang terdiri dari 2 bak (2 m x 1,5 m x 0,5 m) : 1 bak air tawar dan 1 bak air laut. Perawatan dilakukan sesuai dengan umur uji sampel yakni ada 1, 3, 7, 28 dan 90 hari. Pengujian mekanik yang telah dilakukan adalah kuat tekan (ASTM-C39) (ASTM C39, no date) dan kuat tarik belah (ASTM- C496/C496M) (ASTM C496, no date). Pengujian sifat mekanik (kuat tekan dan kuat tarik belah) dilakukan pada umur 1, 3, 7, 28, dan 90 hari.

Analisis mikrostruktur dilakukan SEM (*Scanning Electron Microscope*), uji X-ray Diffraction (XRD) dan metode petrografi. Uji SEM digunakan untuk menganalisis morfologi mikrostruktur beton, Uji XRD menganalisis kuantitas fase mikrostruktur beton terutama tobermorite, portlandite, ettringite, friedel's salt yang terbentuk pada beton. Sedangkan uji petrografi digunakan untuk menganalisis jenis dan ukuran pori serta porositas beton berdasarkan standar ASTM (ASTM C856/C856M-20, 2020).

HASIL

A. Mikrostruktur Beton

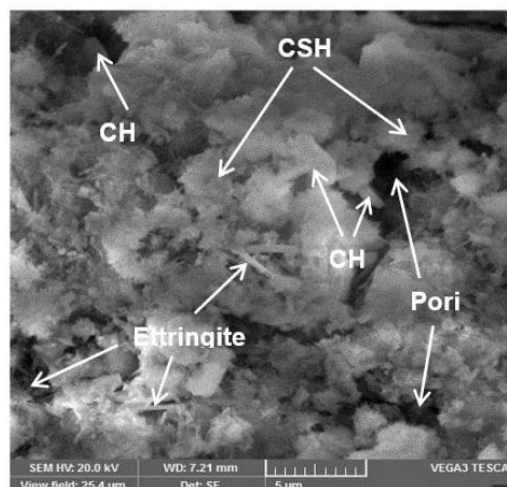
Mikrostruktur merupakan jenis, jumlah, ukuran, bentuk, dan distribusi fase yang ada dalam suatu zat padat. Elemen kasar dari material mikrostruktur dapat dilihat dari potongan melintang dari materialnya, sedangkan elemen halus dari mikrostruktur biasanya dapat dilihat dengan bantuan mikroskop. Batas resolusi dari ketidakmampuan mata diperkirakan sebesar 0,2 mm (200 µm) (Mehta and Monteiro, 2006).



Gambar 1. Phase Mikrostruktur Beton Curing Air Tawar

Sumber: Analisis Data, 2014

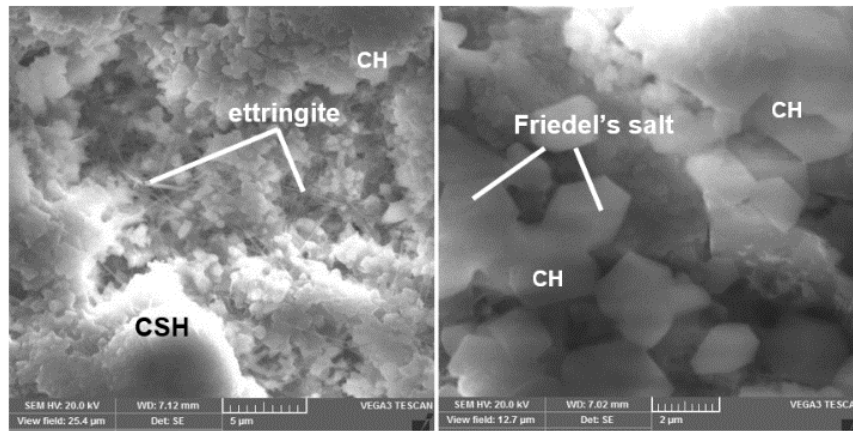
Penelitian mikrostruktur suatu material beton diamati dengan menggunakan alat SEM (*Scanning Electron Microscope*), XRD (*X-Ray Diffraction*) dan Petrography. Phase mikrostruktur atau proses hydrasi yang terjadi pada beton umur 1 – 90 hari dapat dilihat pada Gambar 1. Gambar 1 memperlihatkan senyawa yang terbentuk pada proses hydrasi pada beton. Reaksi antara semen dan air membentuk senyawa Portlandite, Ca(OH)₂; Tobermorite, 3CaO.2SiO₂.3H₂O; Ettringite, 3CaO.Al₂O₃.CaSO₄.32H₂O; Trikalsium Silikat, 3CaO.SiO₂; Dikalsium Silikat, 2CaO.SiO₂. Gambar 1 terlihat persentase terbesar dan peningkatan tobermorite dan portlandite. Trikalsium silikat dan dikalsium silikat semakin menurun seiring dengan umur beton.



Gambar 2. Morfologi mikrostruktur beton curing air tawar

Sumber: Analisis SEM, 2014

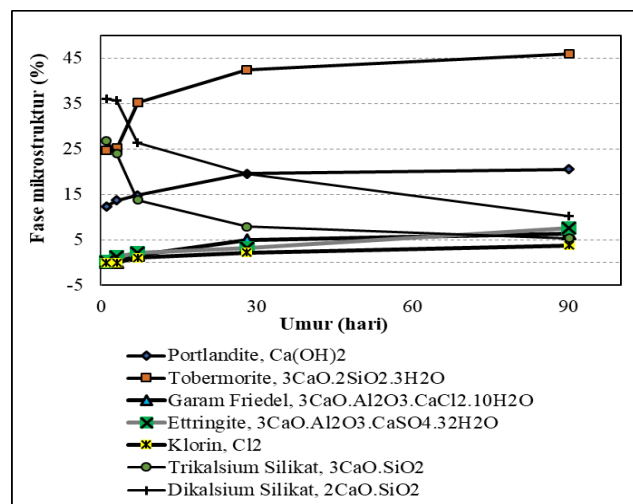
Gambar 2 memperlihatkan tentang SEM morfologi mikrostruktur beton curing air tawar umur 1 hari perbesaran 5000x. Sebagaimana dari hasil XRD bahwa bahwa mikrostruktur beton curing air tawar sejak umur 1 hari telah terbentuk senyawa CSH, CH, dan ettringite. CSH berbentuk seperti kembang berwarna putih, dan CH berbentuk persegi dan ettringite berbentuk jarum.



Gambar 3. SEM morfologi mikrostruktur beton curing air laut

Sumber: Analisis SEM, 2014

Gambar 3 memperlihatkan tentang morfologi beton beton curing air laut dengan perbesaran 5000x dan 10000x. Sebagaimana dari hasil XRD bahwa bahwa mikrostruktur beton curing air tawar sejak umur 1 hari telah terbentuk senyawa CSH, CH, dan *ettringite*. Yang berbeda dengan beton curing air laut dengan beton curing air tawar adalah pada umur 7 – 90 hari terbentuk *friedel's salt* sebagaimana hasil XRD dan morfologi dapat dilihat pada Gambar 3, terlihat *friedel's salt* yang berbentuk hexagonal berwarna putih. Disamping itu, morfologi beton curing air laut juga tergambar *ettringite* yang berbentuk seperti jarum. Ettringite terbentuk sejak umur 1 hari kedua jenis curing sesuai hasil analisis XRD. Beton curing air laut, matriks berbasis semen menyerap ion klorin karena kemajuan pengangkutan dan perkembangan garam Friedel (Yuan *et al.*, 2009; Zhou *et al.*, 2018). Selain itu, pengangkutan klorin dapat terhambat dan proses ini dikenal sebagai pengikatan klorida yang merupakan salah satu tahap penting dari difusi ion klorida (Yuan *et al.*, 2009; Wang *et al.*, 2020).



Gambar 4. Phase Mikrostruktur Beton Curing Air Laut

Sumber: Analisis Data, 2014

Gambar 4 memperlihatkan senyawa yang terbentuk pada proses hydrasi pada beton. Reaksi antara semen dan air membentuk senyawa Portlandite, Ca(OH)₂; Tobermorite, 3CaO.2SiO₂.3H₂O;

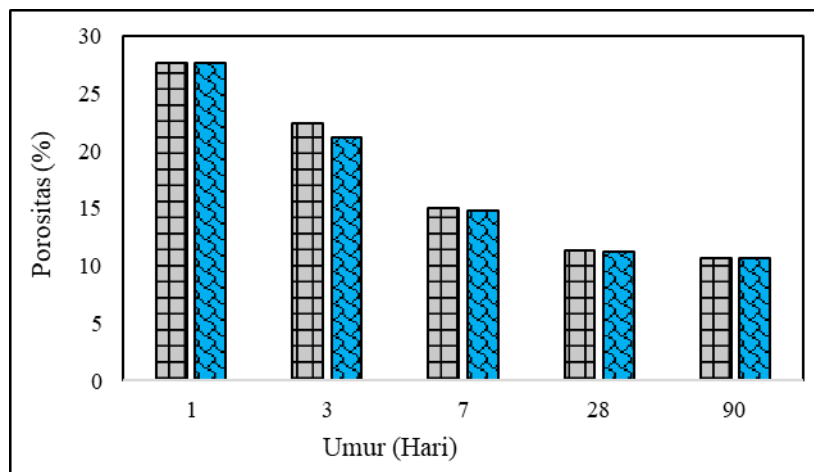
Garam Friedel, $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaCl}_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, Ettringite, $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$; Klorida, Cl; Trikalsium Silikat, $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$; Dikalsium Silikat, $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$.

Gambar 1 terlihat persentase terbesar dan peningkatan tobermorite dan porlandite. Pada beton curing air laut ditemukan senyawa Friedel salt dan klorida Cl, yang tidak ditemukan pada beton curing air tawar. Terbentuknya Friedel salt karena adanya air laut. Dimana dalam air laut ada kandungan klorida didalamnya.

B. Porositas Beton

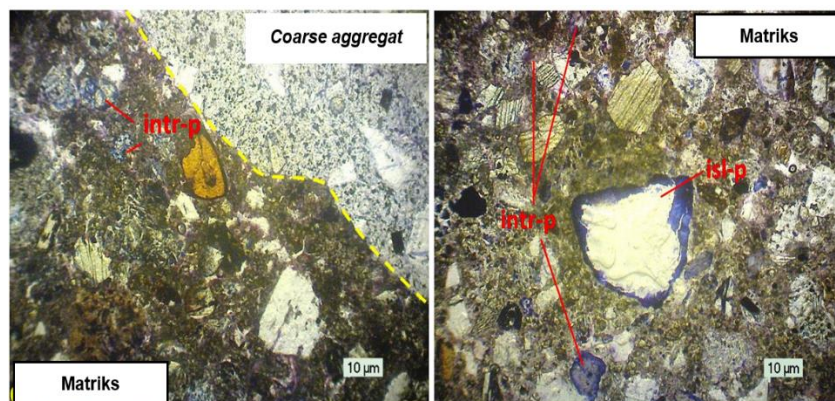
Jenis dan ukuran pori serta porositas dianalisis dengan menggunakan alat petrografi mikroskop polarisasi Olympus BX 51-P. Hasil peninjauan beton dengan menggunakan alat petrografi baik foto mikrograf, ukuran dan jenis pori serta porositas dapat dilihat pada Gambar 5, Gambar 6, Gambar 7 dan Tabel 1. Secara umum porositas suatu material beton dipengaruhi oleh umur material tersebut. Sebagaimana dilihat pada Gambar 5 memperlihatkan porositas semakin kecil seiring dengan bertambahnya umur curing yang dilakukan.

Gambar 5 memperlihatkan hasil porositas antara beton curing air tawar dengan beton curing air laut. Dimana terlihat kedua sampel beton memiliki porositas yang seiring dengan meningkatnya umur beton maka porositas semakin menurun. Dari segi porositas antara beton curing air laut pada umur 3 hari dan 7 hari terlihat porositas lebih kecil pada beton curing air laut dibandingkan dengan beton curing air tawar, namun seiring perkembangan umur porositas tidak terlihat perbedaan yang signifikan.



Gambar 5. Porositas Beton Curing Air Tawar dan Air Laut

Sumber: Analisis Data, 2023

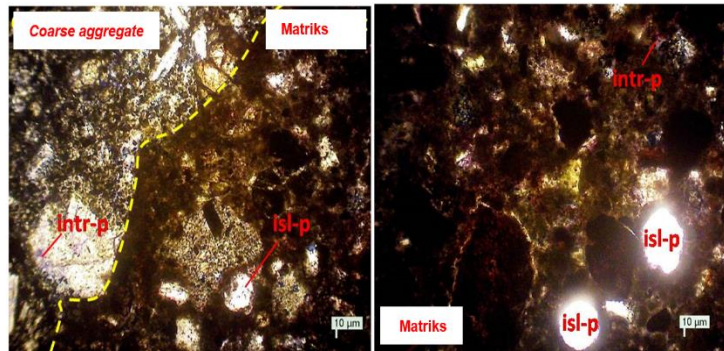


Keterangan : Isl-p : Isolated pore; Intr-p : Intergranuler pore

Gambar 6. Foto mikrograf beton curing air tawar umur 28 hari

Sumber: Analisis Petrography, 2014

Gambar 6 memperlihatkan mikrograf beton curing air tawar umur 28 hari, Dimana beton curing air tawar memiliki ikatan matriks yang baik dengan agregat. Pada matriks beton curing air tawar memiliki ukuran isolated pore sebesar 114,1 μm -290,2 μm dan ukuran intergranular pore sebesar 3,0 μm -16,8 μm .



Gambar 7. Foto mikrograf beton curing air laut umur 28 hari

Sumber data: Analisis Petrografi, 2014

Gambar 7 memperlihatkan foto mikrograf beton curing air laut umur 28 hari dengan alat petrografi. beton curing air laut memiliki ikatan matriks yang baik dengan agregat, dimana pada foto micrograf tidak terlihat adanya retak/crack ataupun channel. Matriks beton curing air laut memiliki isolated pore dengan ukuran 110,5 - 249,9 μm dan intergranular pore dengan ukuran 3,3 - 17,0 μm . Ukuran pori beton curing air tawar umur 28 hari lebih besar dibandingkan dengan beton curing air laut. Untuk lebih detailnya jenis ukuran pori mulai pada umur 1 hari sampai dengan 90 hari dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Jenis dan ukuran pori beton

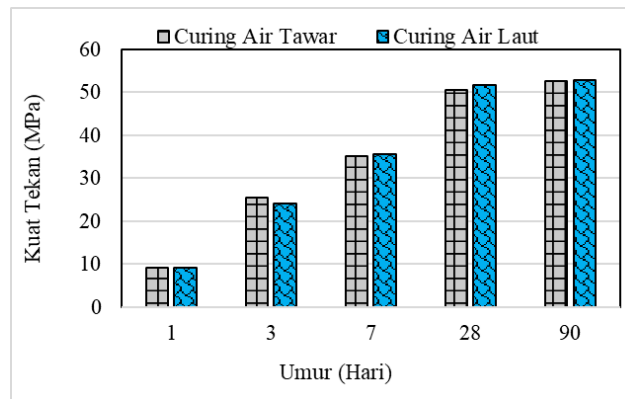
Umur	Jenis Pori	ukuran pori μm	
		Curing Air Tawar	Curing Air Laut
1	Isl-p	172,7-1106,8	172,7-1106,8
	Intr-p	9,2-20,4	9,2-20,4
7	Isl-p	123,6-350,6	117,4-346,9
	Intr-p	7,7-19,7	8,3-19,3
28	Isl-p	114,1-290,2	110,5 -249,9
	Intr-p	3,0-16,8	3,3-17,0
90	Isl-p	87,1-286,0	89,5-237,7
	Intr-p	3,0-14,4	3,1-13,7

Sumber: Analisis data, 2023

Pada Tabel 1 memperlihatkan jenis dan ukuran pori pada beton baik curing air tawar maupun air laut. Kedua jenis beton memiliki ukuran pori semakin kecil sejalan dengan semakin bertambahnya umur. Ada 2 jenis pori yang diamati terdapat pada beton yakni intergranular pore dan isolated pore. Intergranular pore merupakan pori-pori yang terdapat diantara butiran penyusun beton dan memiliki ukuran lebih kecil dibandingkan dengan isolated pore. Isolated pore merupakan pori yang terbentuk mulai dari awal pembentukan sampel.

C. Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah Beton

Kualitas suatu beton dapat dilihat dari sifat mekanik suatu beton. Sifat mekanik beton yang dibahas dalam penelitian ini adalah kuat tekan dan kuat tarik belah beton. Adapun hasil penelitian kuat tekan beton dapat dilihat pada Gambar 8, sedangkan untuk hasil penelitian kuat tarik belah beton dapat dilihat pada Gambar 9.

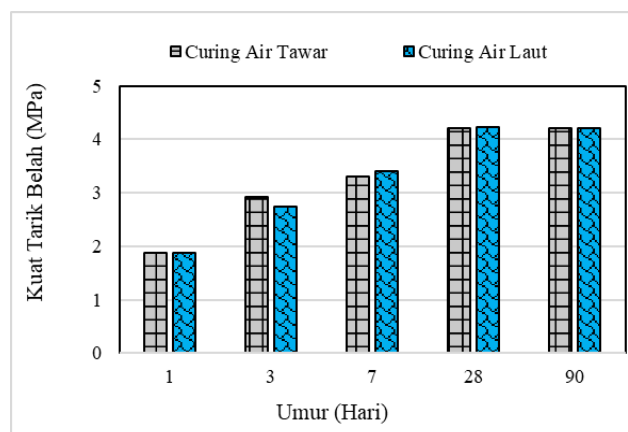


Gambar 8. Kuat Tekan Beton Umur 1 – 90 Hari

Sumber: Analisis data, 2023

Gambar 8 memperlihatkan perbandingan kuat tekan beton curing air tawar dan air laut pada umur curing 1 hari, 3 hari, 7 hari, 28 hari sampai dengan 90 hari. Pada umur 1 hari kuat tekan yang sama, karena belum ada proses curing. Peningkatan kedua sampel beton baik curing air tawar dan curing air laut mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya umur beton.

Pada umur 3 hari, terjadi proses curing yang memberikan efek sedikit pada kuat tekan beton pada umur 7 hari – 90 hari, yakni kuat tekan beton curing air laut lebih tinggi dibandingkan dengan kuat tekan beton air tawar, namun pada umur 90 hari kuat tekan beton baik curing air tawar dan air laut hampir sama.



Gambar 9. Kuat Tarik Belah Beton Umur 1 – 90 Hari

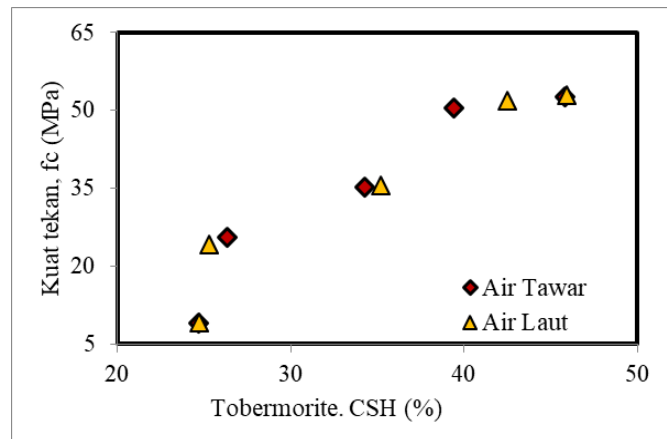
Sumber: Analisis data, 2023

Gambar 9 memperlihatkan perbandingan kuat Tarik belah beton curing air tawar dan air laut pada umur curing 1 hari sampai dengan 90 hari. Efek air laut terhadap kuat belah beton hampir sama dengan kuat tekan beton. Jadi sifat mekanik beton khususnya kuat tekan dan kuat tarik belah beton baik pada curing air tawar maupun air laut meningkat seiring dengan umur beton.

Pembahasan

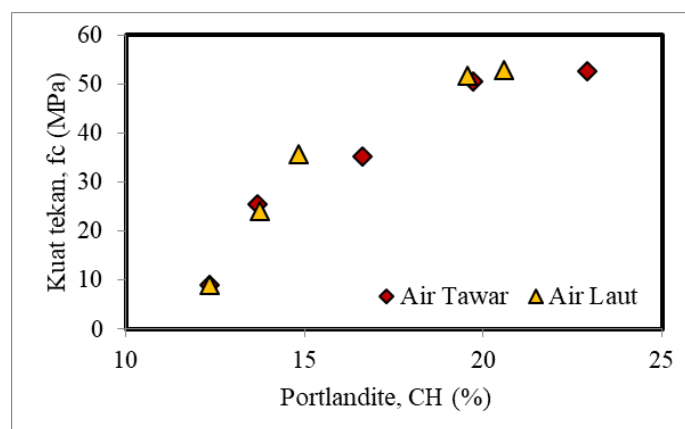
Hubungan Mikrostruktur dengan Sifat Mekanik

Hasil reaksi kimia antara semen dan air membentuk beberapa senyawa antara lain tobermorite, portlandite, ettringite dan garam Friedel. Khusus garam Friedel terbentuk pada beton curing air laut. Penelitian ini hanya memaparkan hubungan mikrostruktur (tobermorite, portlandite, garam firedel, porositas) dengan kuat tekan.



Gambar 10. Hubungan Kuat Tekan dan Tobermorite

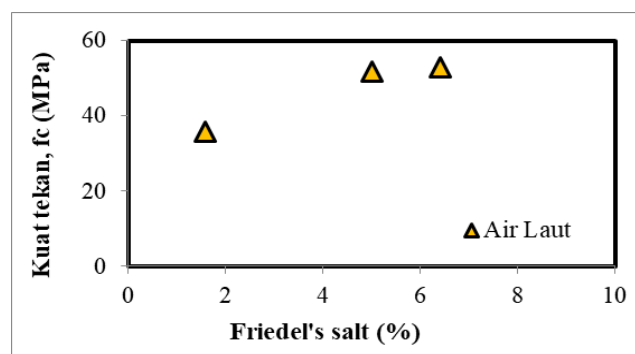
Sumber: Analisis data, 2023



Gambar 11. Hubungan Kuat Tekan dan Portlandite

Sumber: Analisis data, 2023

Gambar 10 dan Gambar 11 memperlihatkan hubungan antara kuat tekan dengan mikrostruktur senyawa tobermorite dan portlandite. Dimana terlihat bahwa semakin besar persentase senyawa tobermorite dan portlandite maka semakin besar pula nilai kuat tekan yang dihasilkan. Dengan demikian efek dari terbentuknya senyawa utama Tobermorite maka memberikan efek positif pada kuat tekan beton.

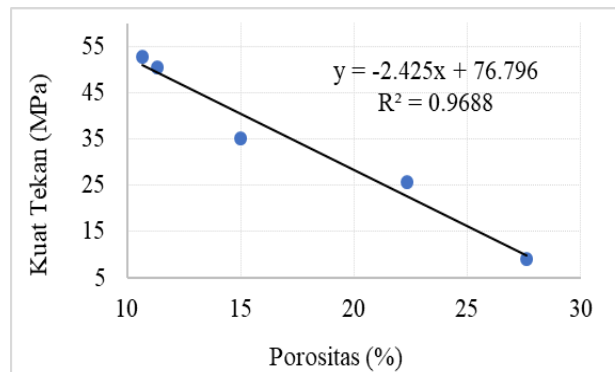


Gambar 12. Hubungan Kuat Tekan dan Friedel's salt (garam Friedel)

Sumber: Analisis data, 2023

Gambar 12 terlihat hubungan kuat tekan dan friedel's salt pada beton curing air laut. Khusus pada beton curing air tawar, pembentukan garam Friedel tidak terbentuk karena air tawar tidak ada kandungan klorida. Garam Friedel memberikan juga efe positif pada kekuatan beton, ini terlihat semakin tinggi Friedel salt maka semakin meningkat juga kuat tekan beton. Sebagaimana penelitian

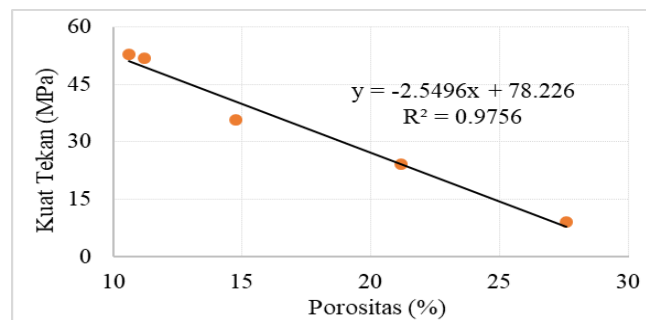
sebelumnya bahwa peningkatan senyawa tobermorite, portlandite, dan garam Friedel seiring dengan meningkatnya kuat tekan beton (16).



Gambar 13. Hubungan Kuat tekan dan Porositas pada Beton Curing Air Tawar

Sumber: Analisis data, 2023

Gambar 13 menunjukkan hubungan regresi linier kuat tekan dan porositas pada beton curing air tawar. persamaan hubungan kuat tekan dan portlandit adalah $y = -2.425x + 76.796$ dengan koefisien determinasi $R^2 = 0,9688$, dengan demikian nilai korelasi r hampir mendekati 1. Nilai korelasi (r) menunjukkan korelasi negatif, hal ini berarti semakin kecil persentase porositas maka semakin besar pula kuat tekannya.



Gambar 14. Hubungan Kuat tekan dan Porositas pada Beton Curing Air Laut

Sumber: Analisis data, 2023

Gambar 14 menunjukkan hubungan regresi linier kuat tekan dan porositas pada beton curing air laut. persamaan hubungan kuat tekan dan portlandit adalah $y = -2.5496x + 78.226$ dengan koefisien determinasi $R^2 = 0,9756$, dengan demikian nilai korelasi r hampir mendekati 1. Nilai korelasi (r) menunjukkan korelasi negatif, hal ini berarti semakin kecil persentase porositas maka semakin besar pula kuat tekannya. Gambar 13 dan Gambar 14 menunjukkan bahwa hubungan porositas dan kuat tekan sangat signifikan, dimana semakin kecil porositas maka semakin tinggi kuat tekannya, sebagaimana penelitian sebelumnya (Erniati *et al.*, 2015).

SIMPULAN

Beton curing air laut memiliki trend peningkatan jumlah tobermorite, portlandite, ettringite dan friedel's salt sejalan dengan bertambahnya umur. Friedel's salt beton curing air laut terbentuk sejak umur 3 hari, tetapi pada beton curing air tawar tidak ditemukan. Penurunan ukuran pori dan porositas beton sejalan dengan bertambahnya umur. Porositas dan kuat tekan beton memiliki hubungan signifikan, semakin kecil porositas beton maka semakin kecil nilai kuat tekan beton.

DAFTAR PUSTAKA

ASTM C39 (no date) *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens.*

ASTM C496 (no date) *Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete*

Specimens.

- ASTM C856/C856M-20 (2020) *Standard Practice for Petrographic Examination of Hardened Concrete*. West Conshohocken.
- Bachtiar, E. et al. (2022) 'Monitoring of chloride and Friedel's salt, hydration components, and porosity in high-performance concrete', *Case Studies in Construction Materials*, 17(June). doi:10.1016/j.cscm.2022.e01208.
- Chrismaningwang, G., Basuki, A. and Sambowo, K.A. (2017) 'The Effect of Seawater Curing on the Correlation between Split Tensile Strength and Modulus of Rupture in High-strength Concrete Incorporating Rice Husk Ash', *Procedia Engineering*, 171, pp. 774–780. doi:10.1016/j.proeng.2017.01.447.
- Duxbury, A.C., Byrne, R.H. and Mackenzie, F.T. (2020) 'Seawater'. *Encyclopedia Britannica*, 5 Nov. 2020.
- Erniati et al. (2015) 'Porosity, pore size and compressive strength of self compacting concrete using sea water', *Procedia Engineering*, 125, pp. 832–837. doi:10.1016/j.proeng.2015.11.045.
- Erniati, B. (2018) 'The Self Compacting Concrete (SCC) using seawater as mixing water without curing', *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 13(13), pp. 4057–4061. doi:10.31227/osf.io/pujv7.
- Fayed, S., Mansour, W. and Khalil, A. (2021) 'Evaluation of Sea Water as a Mixing / Curing of the Concrete International Conference on Advances in Structural and Geotechnical Engineering ICASGE ' 21 Evaluation of Sea Water as a Mixing / Curing of the Concrete', (May).
- Mehta, P. and Monteiro, P.J.. (2006) *Concrete: Microstructure, Properties and Materials*. 3rd Ed, McGraw-hill Professional.
- Sultan, M.A. and Djameluddin, R. (2017) 'Pengaruh Rendaman Air Laut terhadap Kapasitas Rekatkan GFRP-Sheet pada Balok Beton Bertulang', *Jurnal Teknik Sipil*, 24(1), pp. 35–42. doi:10.5614/jts.2017.24.1.5.
- Teng, J.-G. et al. (2019) 'Development and mechanical behaviour of ultra-high-performance seawater sea-sand concrete', *Advances in Structural Engineering*, 22(14), pp. 3100–3120. doi:10.1177/1369433219858291.
- Teng, J.G. et al. (2019) 'Development and mechanical behaviour of ultra-high-performance seawater sea-sand concrete', *Advances in Structural Engineering*, 22(14), pp. 3100–3120. doi:10.1177/1369433219858291.
- Wang, M. et al. (2020) 'Experimental and theoretical studies on the removal mechanism of formaldehyde from water by mesoporous calcium silicate', *Science China Technological Sciences*, 63(10), pp. 2098–2112. doi:10.1007/s11431-019-1504-7.
- Yuan, Q. et al. (2009) 'Chloride binding of cement-based materials subjected to external chloride environment – A review', *Construction and Building Materials*, 23(1), pp. 1–13. doi:10.1016/j.conbuildmat.2008.02.004.
- Zhou, Y. et al. (2018) 'Experimental and molecular dynamics studies on the transport and adsorption of chloride ions in the nano-pores of calcium silicate phase: The influence of calcium to silicate ratios', *Microporous and Mesoporous Materials*, 255, pp. 23–35. doi:10.1016/j.micromeso.2017.07.024.