

## BAB II

### TINJAUAN TEORITIS

#### 2.1 Pengaruh Lingkungan Agresif Pada Beton

Lingkungan agresif merupakan lingkungan yang mengandung senyawa kimia yang dapat menyebabkan kerusakan pada beton yang berbahaya bagi durabilitas beton. Salah satu contoh lingkungan agresif adalah air laut. Senyawa kimia yang berada di air laut seperti Magnesium Sulfat ( $\text{MgSO}_4$ ) dan Chlorida yang bereaksi terhadap beton akan menghambat perkembangan beton, warna beton menjadi keputih-putihan, terjadinya retak pada beton kemudian beton mengembang.

Air laut sebaiknya tidak digunakan pada campuran beton yang terdapat tulangan atau pembedaan dikarenakan akan mudah mengalami korosi akibat perubahan panas (temperatur) dan lingkungan yang lembab. Pada umumnya air laut dapat digunakan sebagai campuran untuk beton tidak bertulang, beton pra-tekan, pra-tegang dan beton mutu tinggi lainnya yang mengandung 30.000-36.000 mg garam per liter (3%-6%) air laut (Tri Mulyono, 2004). Adapun unsur senyawa kimia yang diperlihatkan pada tabel dibawah ini. Adapun unsur unsur dalam air laut dapat dilihat dari Tabel 2.1.

*Tabel 2.1 Unsur kandungan dalam Air Laut*

Unsur Kimia	Kandungan (ppm)
Clorida (Cl)	19
Natrium (Na)	10.6
Brom (Br)	65
Carbon (C)	28
Magnesium (Mg)	1.27
Cr	13
B	4,6
Sulfur (S)	880
Calium (Ca)	400

Sumber : *Concrete Technology and Practice*

Selain mengandung unsur-unsur air laut juga mengandung unsur senyawa kimia dalam air laut yang dapat merusak beton. Adapun senyawa yang terkandung pada air laut dapat dilihat dari Tabel 2.2.

**Tabel 2.2** Senyawa Air Laut pada berat jenis 1,0258 liter/kg

No	Senyawa	Gram per kg air laut
1	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,003
2	CaCO <sub>3</sub>	0,1172
3	CaSO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	1,7488
4	NaCl	29,6959
5	MgSO <sub>4</sub>	2,4787
6	MgCl <sub>2</sub>	3,3172
7	NaBr	0,5524
8	KCl	0,5339
Total		38,44471

Sumber : Riley and Skirrow (1975) dan PN Garam

Beton adalah salah satu campuran konstruksi yang biasa digunakan pada bangunan gedung, jalan, jembatan. Beton ini dibuat dengan menggabungkan agregat halus, agregat kasar, bahan semen hidrolik (*portland cement*), dan air, kadang dengan bahan tambah (*admixture* atau *additive*) bersifat fisikal ataupun kimiawi pada perbandingan tertentu. Campuran tersebut akan mengeras seperti batuan pada umur tertentu setelah dilakukan pencampuran.

Beton yang digunakan untuk material struktur bangunan dituntut memiliki sifat yang kuat dalam menahan beban atau gaya-gaya bekerja. Selain itu, beton juga harus memiliki ketahanan (*durabilitas*) yang tinggi dimana beton harus mampu menghadapi segala kondisi tanpa mengalami kerusakan selama jangka waktu pelayanan (*service ability*).

Pada dasarnya beton juga bisa berkurang ketahanan dan kekuatannya. Beton sangat dipengaruhi durabilitasnya yang disebabkan oleh beberapa hal.

1. Pengaruh fisik (*physical attack*), yaitu:
  - (a) terjadinya pelapukan diakibatkan oleh kondisi cuaca;
  - (b) pasta semen dan agregat mengalami cair sehingga tidak saling mengikat;
  - (c) basah dan kering bergantian, terjadi pada pasta semen;
  - (d) pasta semen dan agregat mengalami perubahan drastis akibat temperatur.
2. Pengaruh kimia, antara lain:

- (a) beton mengalami penetrasi larutan unsur kimia;
  - (b) pasta semen mengalami serangan sulfat ;
  - (c) agregat mengalami reaksi alkali-agregat;
  - (d) pasta semen mengalami serangan asam dan alkalis;
  - (e) baja tulangan menjadi korosi.
3. Pengaruh mekanis, antara lain:
- (a) agregat dan semen mengalami perubahan volume akibat perubahan sifat thermal dari agregat terhadap pasta semen;
  - (b) semen dan agregat mengalami abrasi (pengikisan).

Agar beton durabilitasnya tidak berkurang, maka beton dirancang harus memiliki durabilitas yang tinggi. Beberapa syarat yang harus dipenuhi adalah:

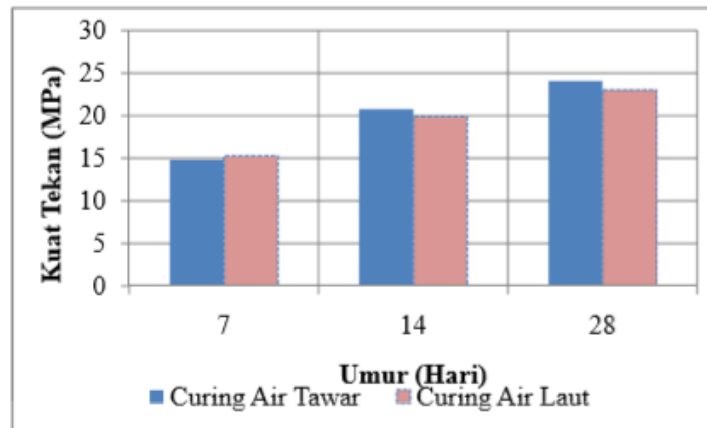
- (a) beton mempunyai kepadatan yang tinggi sehingga porositas dan permeabilitas beton sangat kecil;
- (b) porositas sangat kecil;
- (c) permeabilitas sangat kecil;
- (d) tahan terhadap pengaruh lingkungan seperti serangan sulfat dan korosi.

Air laut mengandung chlorida (Cl) yang merupakan bahan agresif bagi beton. Kerusakan dapat terjadi akibat reaksi antara air laut yang agresif yang ke dalam beton dengan senyawa-senyawa di dalam beton yang mengakibatkan beton kehilangan sebagian massa, kehilangan kekuatan dan kekakuannya serta mempercepat proses pelapukan.

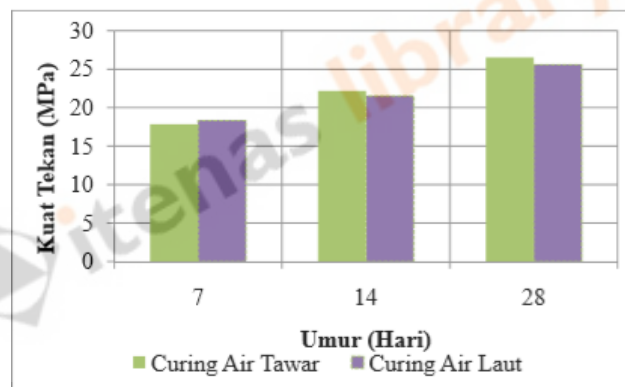
Kerusakan beton di air laut disebabkan chlorida yang terkandung di air laut, yaitu NaCl dan MgCl. Senyawa ini bila bertemu senyawa semen menyebabkan gypsum dan kalsium sulfoaluminat (ettringite) dalam semen mudah larut (Neville, 1981). Akibatnya dapat mengurangi waktu ikat, kekuatan di awal meningkat tetapi kekuatan akhirnya menurun.

Dari penelitian yang dilakukan oleh Amy Wadu (2014) dengan membandingkan perendaman beton menggunakan air tawar dan air laut menggunakan mutu beton 20 MPa, 25 MPa, dan 30 MPa terhadap kuat tekan pada

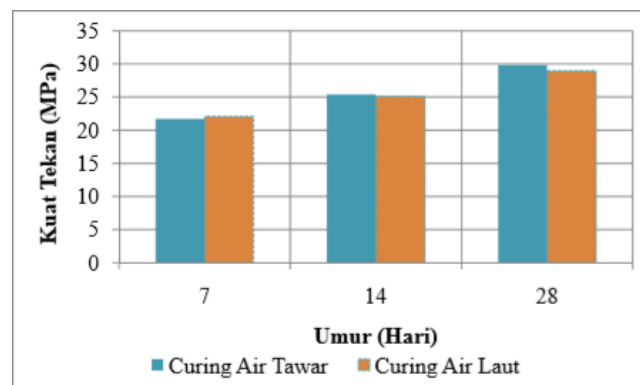
umur 7 hari, 14 hari, dan 28 hari, didapat hasil seperti pada Gambar 2.1, Gambar 2.2, dan Gambar 2.3.



**Gambar 2.1** Grafik kuat tekan beton ( $f_{cr} = 20$  MPa)



**Gambar 2.2** Grafik kuat tekan beton ( $f_{cr} = 25$  MPa)

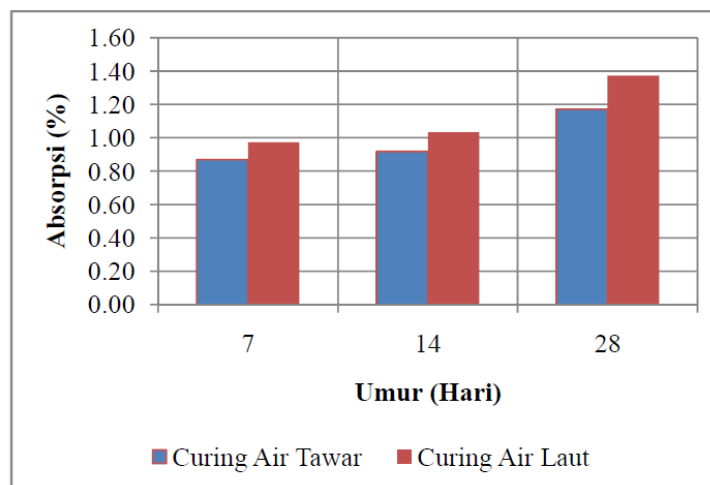


**Gambar 2.3** Grafik kuat tekan beton ( $f_{cr} = 30$  MPa)

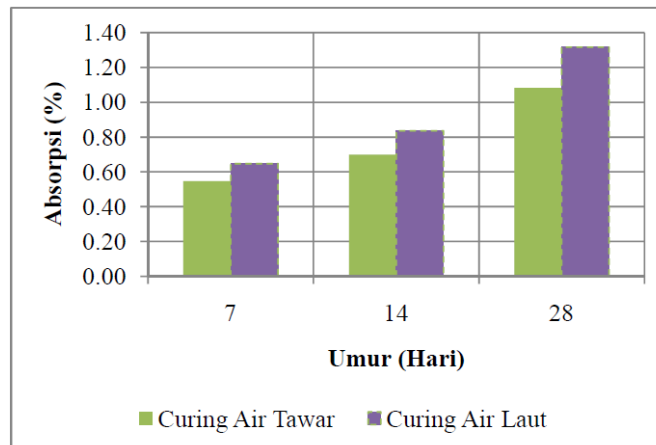
Dari grafik yang terdapat pada Gambar 2.1, Gambar 2.2, dan Gambar 2.3, kuat tekan beton menggunakan perawatan dengan air laut pada umur 7 hari menghasilkan nilai kuat tekan lebih tinggi dari pada menggunakan perawatan dengan air tawar, sedangkan pada beton umur 14 hari dan 28 hari yang mengalami perawatan dengan air tawar menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi daripada kuat tekan yang dihasilkan beton yang mengalami perawatan dengan air laut.

Sementara itu, pengaruh serangan sulfat ( $\text{SO}_4$ ) lebih berbahaya dibandingkan serangan dari garam-garam yang terdapat pada air laut. Garam sulfat pertama-tama akan bereaksi dengan kalsium hidroksida  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  pada semen yang terhidrasi, sehingga membentuk kalsium sulfat ( $\text{CaSO}_4$ ) dan kalsium aluminat hidrat ( $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 13\text{H}_2\text{O}$ ) yang kemudian membentuk kalsium sulfoaluminat. Volume kalsium aluminat yang lebih besar daripada volume beton solid membuat beton mengalami peningkatan volume sehingga menyebabkan *spalling* dan beton mengembang.

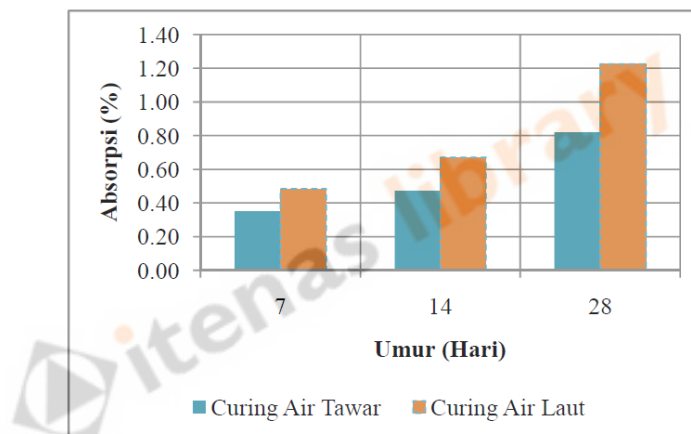
Dari penelitian yang dilakukan oleh Amy Wadu (2014) dengan membandingkan perawatan beton menggunakan air tawar dan air laut menggunakan mutu beton 20 MPa, 25 MPa, dan 30 MPa terhadap absorpsi pada umur 7 hari, 14 hari, dan 28 hari, didapat hasil seperti pada Gambar 2.4, Gambar 2.5, dan Gambar 2.6.



**Gambar 2.4** Grafik nilai absorpsi beton ( $f_{cr} = 20 \text{ MPa}$ )



**Gambar 2.5** Grafik nilai absorpsi beton ( $f_{cr} = 25 \text{ MPa}$ )



**Gambar 2.6** Grafik nilai absorpsi beton ( $f_{cr} = 30 \text{ MPa}$ )

Dari grafik yang terdapat pada Gambar 2.4, Gambar 2.5, dan Gambar 2.6, dapat dilihat bahwa nilai absorpsi pada beton dengan perawatan air tawar lebih kecil dari pada perawatan dengan air laut. Selain itu, semakin tinggi nilai absorpsi maka kekuatan beton semakin menurun. Hal ini dikarenakan nilai absorpsi besar mengakibatkan beton kurang padat.

## 2.2 Persyaratan Beton Pada Lingkungan Agresif

Persyaratan batas maksimum konsentrasi ion klorida yang boleh terkandung pada beton yang telah mengeras pada umur 28 hari, agar tulangan tidak mengalami korosi dapat dilihat pada Tabel 2.3.

**Tabel 2.3** Batas Maksimum Ion chlorida

Jenis Beton	Batas (%)
Beton pra-tekan	0,06
Beton bertulang yang selamanya berhubungan dengan klorida	0,15
Beton bertulang yang selamanya kering atau terlindung dari basah	1,00
Konstruksi beton bertulang lainnya	0,30

Sumber: PB 1989:23

Persyaratan faktor air semen dan Kadar semen apabila beton berhubungan dengan air payau, air laut atau air siraman dapat dilihat dari Tabel 2.4.

**Tabel 2.4** Ketentuan Minimum untuk Beton Kedap Air

Jenis Beton	Kondisi Lingkungan Berhubungan dengan	Faktor Air Semen Maksimum	Kadar Semen Minimum, kg/m <sup>3</sup>	
			40 mm*	20 mm*
Beton Bertulang	Air Tawar	0,50	260	290
	Air Payau / Air Laut	0,45	320	360
Beton Pratekan	Air Tawar	0,05	300	300
	Air Payau / Air Laut	0,045	320	360

Sumber: Tabel 4.5.1 (a) PB (draft)1989:21, \*) Ukuran Maksimum Agregat

### 2.3 Pengaruh Kadar Semen terhadap Porositas dan Permeabilitas beton

Porositas merupakan jumlah/besarnya perbandingan pori-pori terhadap volume total beton. Perbandingan ini biasanya dinyatakan dalam persen. Pori-pori beton tidak semuanya tertutup oleh pasta semen dikarenakan pori tersebut berisi udara dan air yang saling berhubungan dan disebut dengan kapiler. Walaupun air yang berada pada rongga pori ini menguap kapiler ini akan tetap ada, sehingga mengurangi kepadatan mortar.

Faktor air-semen sangat mempengaruhi kemudahan dalam pekerjaan beton jika pekerjaan atau pelaksanaan pengecoran beton tidak benar maka beton akan berpengaruh pada lekatan antara pasta semen dengan agregat, besar kecilnya nilai *slump*, pemilihan tipe susunan gradasi agregat gabungan, maupun terhadap lamanya pemadatan. Semakin tinggi tingkat kepadatan pada beton maka semakin besar kuat tekan beton, sebaliknya semakin besar porositas beton, maka kekuatan beton akan semakin lemah.

Permeabilitas adalah mudahnya cairan yang masuk ke dalam beton yang diakibatkan oleh porositas beton itu sendiri, faktor utama yang pengaruh bagi durabilitas (daya tahan) adalah faktor air-semen. jika faktor air-semen semakin kecil maka nilai porositas juga menjadi kecil dan beton lebih *impermeable*.

Faktor utama yang menentukan permeabilitas beton adalah faktor air-semen dan kadar Semen . Zat cair dan gas akan masuk kedalam beton melewati pori-pori yang dipengaruhi oleh faktor air semen, semakin tinggi faktor air-semen semakin banyak pula pori-pori yang saling berhubungan sehingga beton memiliki permeabilitas tinggi atau zat cair atau gas yang masuk ke dalam beton semakin banyak. Karena itu agar beton dapat bertahan dengan waktu yang lama maka permeabilitas beton perlu diturunkan, yaitu dengan menurunkan faktor air-semen.

Menurut Neville (1995) dalam Eko Hindaryanto Nugroho (2010) permeabilitas beton juga dipengaruhi dari sifat semen, untuk perbandingan air/semen yang sama semen yang butirannya kasar cenderung menghasilkan pasta semen yang mengeras dengan porositas yang lebih tinggi dari pada semen yang butirannya halus.

Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi besarnya permeabilitas beton.

1. Mutu agregat yang dipakai pada campuran beton.

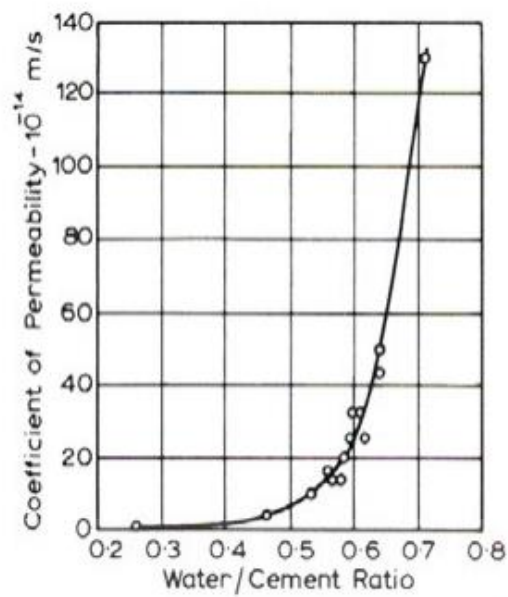
Mutu agregat akan mempengaruhi, nilai permeabilitas dan porositas dimana jika penggunaan agregat yang baik permeabilitas yang dihasilkan kecil dan porositas kecil juga. Hal ini dikarenakan agregat dan semen saling mengikat sehingga tidak menghasilkan pori-pori yang besar.

2. Keadaan lingkungan.

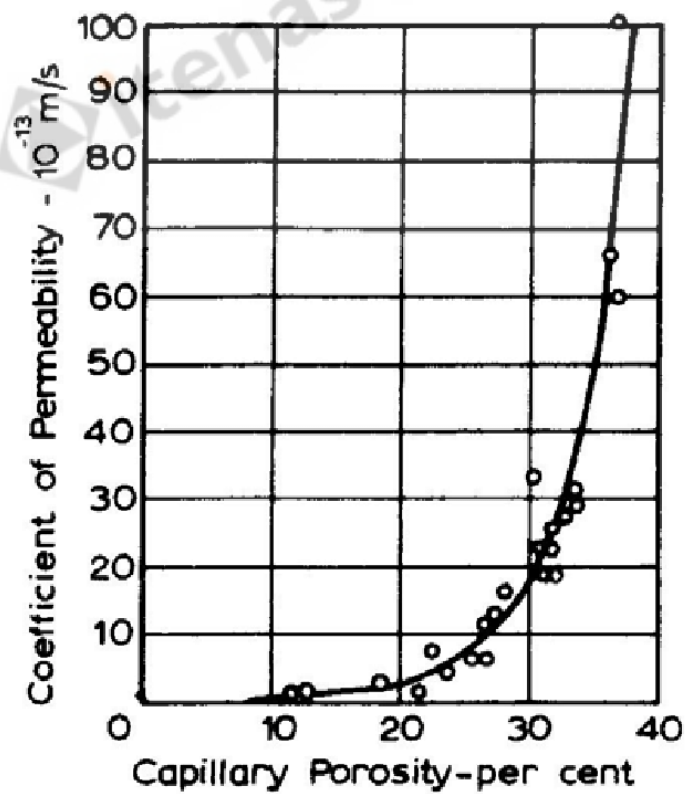
Keadaan lingkungan seperti temperatur dan kelembaban udara. Pada reaksi kimia, faktor temperatur juga menentukan kecepatan reaksi sehingga pada daerah dengan temperatur yang tinggi, reaksi perusakan yang terjadi juga semakin cepat. Bagian dalam beton akan selalu menyerap kelembaban dari udara sekitar sehingga faktor kelembaban udara berpengaruh pada kecepatan masuknya gas atau zat cair ke dalam beton. Pada kelembaban tinggi, gas akan sulit masuk ke dalam beton karena terhalang kondensasi air di dalam beton. Bila sebaliknya, zat cair akan semakin cepat masuk:

- (a) dengan bertambahnya umur beton bangunan maka kekuatan beton akan menurun dikarenakan adanya beban dari bangunan tersebut yang menyebabkan beton tidak kuat lagi;
- (b) gradasi agregat, dimana dalam pemilihan agregat dalam pembuatan beton harus diperhatikan agar workabilitasnya tidak turun disebabkan oleh gradasi yang terlalu banyak pasir serta gradasi yang kasar sehingga memerlukan tambahan air untuk kemudahan pengerjaan pembuatan beton. Pengerjaan pembuatan beton yang baik akan meningkatkan permeabilitas;
- (c) perawatan (*curing*) beton dilakukan setelah pengecoran selesai, beton tidak boleh didiamkan karena beton butuh perawatan dengan baik salah satunya melakukan penyiraman pada beton dengan menggunakan air, karena sangat mempengaruhi nilai permeabilitas beton. Oleh sebab itu selama beberapa hari setelah pengecoran beton perlu dibasahi agar beton tidak mengalami retak.

Porositas dan permeabilitas beton sangat mempengaruhi daya ketahanan/durabilitas beton. Berdasarkan penelitian Power (1958) dalam Neville (1981), permeabilitas dipengaruhi oleh nilai faktor air semen yang dapat ditunjukkan pada Gambar 2.7. Selain itu pula nilai permeabilitas beton sangat dipengaruhi oleh nilai porositas beton yang dapat ditunjukkan pada Gambar 2.8.



**Gambar 2.7** Grafik Perbandingan faktor air-semen terhadap Permeabilitas pada Semen



**Gambar 2.8** Grafik Perbandingan Porositas Terhadap Permeabilitas Pada Semen

Dari Gambar 2.7 dan Gambar 2.8 diperlihatkan bahwa semakin kecil nilai faktor air-semen maka nilai permeabilitas makin kecil. Jika faktor air-semen mengecil maka nilai kadar semen semakin besar. Dengan demikian maka nilai permeabilitas ditentukan oleh nilai kadar semen. Hal ini juga berarti porositas beton ditentukan oleh nilai kadar semen. Semakin besar kadar semen semakin kecil porositas. Dengan demikian maka kadar semen minimal perlu dibatasi agar menghasilkan porositas dan permeabilitas kecil. Dengan demikian ketahanan beton semakin meningkat.

