

BAB II

TINJAUAN TEORITIS

2.1 Pengaruh Air Laut Terhadap Kekuatan dan Ketahanan Beton

Air laut umumnya mengandung 3,5% larutan garam (sekitar 78% adalah sodium klorida dan 15% adalah magnesium klorida). Garam-garaman dalam air ini akan mengurangi kualitas beton hingga 20%. Air laut ini tidak boleh digunakan sebagai bahan campuran beton prategang ataupun beton bertulang karena resiko terhadap karat lebih besar (Tri Mulyono, 2004). Adapun unsur-unsur dalam air laut dapat dilihat dari Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Unsur-Unsur dalam Air Laut

Unsur Kimia	Kandungan (ppm)
Clorida (Cl)	19.000
Natrium (Na)	10.600
Magnesium (Mg)	1.270
Sulfur (S)	880
Calium (Ca)	400
Kalsium (K)	380
Brom (Br)	65
Carbon (C)	28
Cr	13
B	4,6

Sumber : Concrete Technology and Practice

Selain mengandung unsur-unsur yang sudah disebutkan pada Tabel 2.1, air laut juga mengandung senyawa-senyawa penting. Adapun senyawa yang terkandung pada air laut dapat dilihat dari Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Senyawa dalam Air Laut pada Berat Jenis 1,0258 liter/kg

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

Sumber : Riley and Skirrow (1975) dan PN Garam

Beton adalah campuran antara semen *portland* atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air, dan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk massa padat (SNI-03-287-2002).

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 (*durable*) yang tinggi dimana beton harus mampu menghadapi segala kondisi tanpa mengalami kerusakan (*deteriorate*) selama jangka waktu pelayanan (*service ability*).

Pada kenyataannya, beton juga bisa berkurang ketahanannya. Berkurangnya durabilitas beton dapat disebabkan oleh beberapa hal, antara lain :

(a) Pengaruh fisik (*physical attack*)

- Pelapukan oleh cuaca
- Membeku dan mencair, terjadi pada pasta semen dan agregat
- Basah dan kering bergantian, terjadi pada pasta semen
- Perubahan temperatur drastis, terjadi pada pasta semen dan agregat

(b) Pengaruh kimia

- Penetrasi larutan/unsur kimia pada beton
- Serangan sulfat, terjadi pada pasta semen
- Reaksi alkali-agregat, terjadi pada agregat

- Serangan asam dan alkalis, terjadi pada pasta semen
 - Korosi baja tulangan, terjadi pada baja tulangan
- (c) Pengaruh mekanis
- Perubahan volume akibat perubahan sifat thermal dari agregat terhadap pasta semen, terjadi pada agregat dan semen
 - Abrasi (pengikisan), terjadi pada semen dan agregat

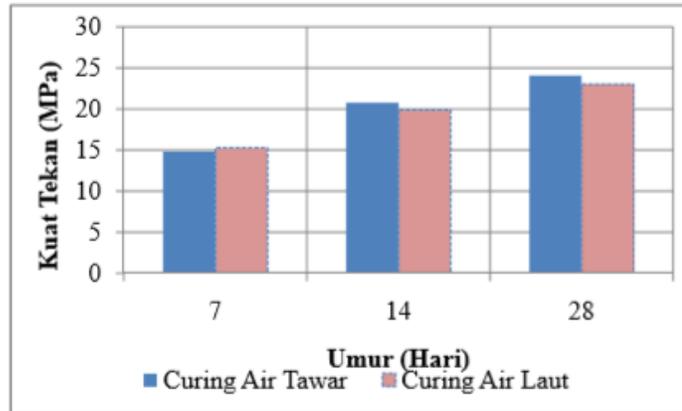
Agar beton durabilitasnya tidak berkurang, maka beton dirancang harus memiliki durabilitas yang tinggi. dengan syarat yang harus dipenuhi sebagai berikut :

- (a) Kepadatan beton yang tinggi
- (b) Porositas rendah
- (c) Permeabilitas rendah
- (d) Tahan terhadap pengaruh lingkungan (serangan sulfat dan alkali, korosi)

Air laut mengandung klorida (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.

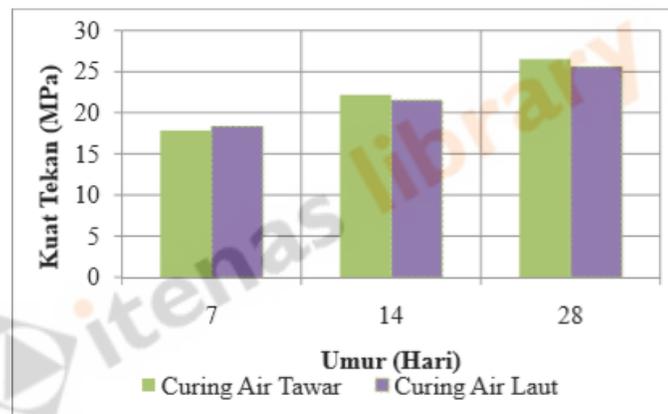
Menurut Neville (1981), kerusakan beton di air laut disebabkan klorida yang terkandung di air laut, yaitu NaCl dan MgCl. Senyawa ini bila bertemu senyawa semen menyebabkan gypsum dan kalsium sulphoaluminat (ettringite) dalam semen mudah larut. Akibatnya dapat mengurangi *setting time*, kekuatan dini meningkat tetapi kekuatan akhirnya menurun.

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 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.



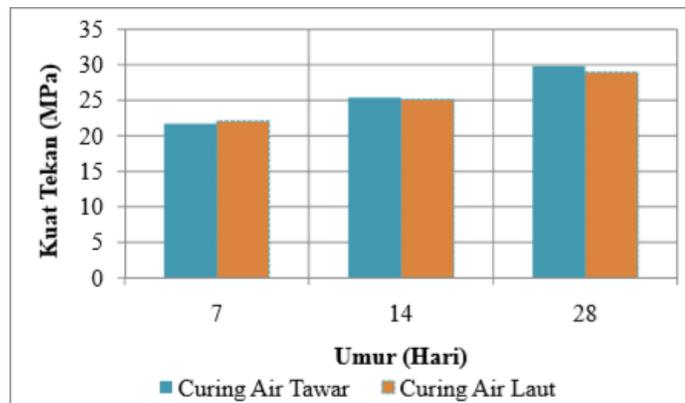
Sumber : Amy Wadu (2014)

Gambar 2.1 Grafik Kuat Tekan Beton ($f_{cr} = 20$ MPa)



Sumber : Amy Wadu (2014)

Gambar 2.2 Grafik Kuat Tekan Beton ($f_{cr} = 25$ MPa)



Sumber : Amy Wadu (2014)

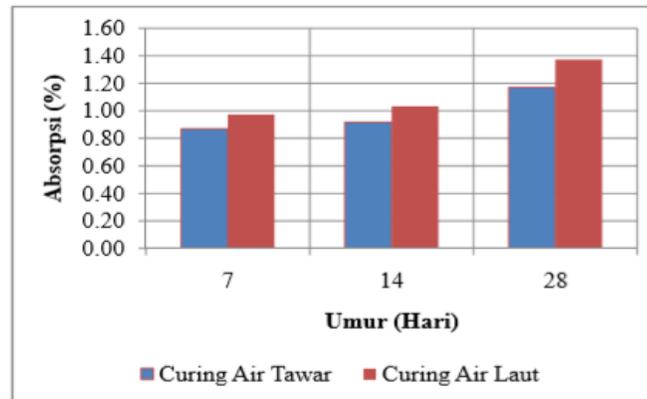
Gambar 2.3 Grafik Kuat Tekan Beton ($f_{cr} = 30$ MPa)

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 daripada 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.

Selain reaksi kimia, kristalisasi garam dalam rongga beton dapat mengakibatkan kehancuran akibat tekanan kristalisasi tadi. Karena kristalisasi terjadi pada titik penguapan air, bentuk serangan terjadi di dalam beton di atas permukaan air. Garam naik di dalam beton dengan aksi kapiler, jadi serangan terjadi hanya jika air dapat terserap dalam beton (Nugraha, 2007:76,169).

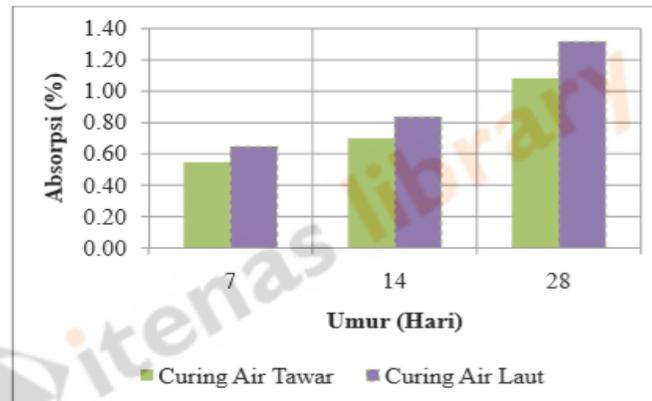
Sementara itu, pengaruh serangan sulfat (SO_4) lebih berbahaya dibandingkan serangan dari garam-garam yang terdapat pada air laut. Garam sulfat pertama-tama akan bereaksi dengan kalsium hidroksida $\text{Ca}(\text{OH})_2$ pada semen yang terhidrasi, sehingga membentuk kalsium sulfat (CaSO_4) dan kalsium 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.



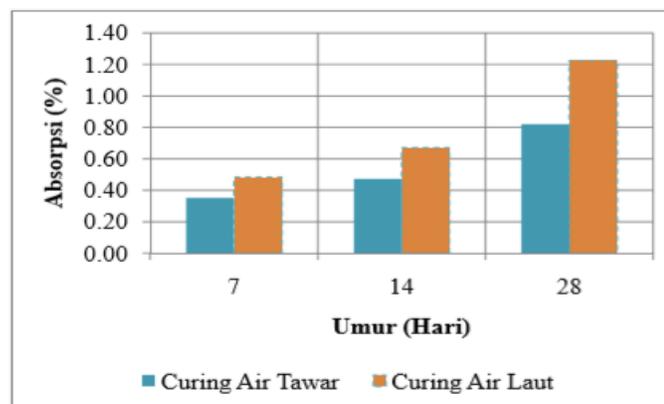
Sumber : Amy Wadu (2014)

Gambar 2.4 Grafik Nilai Absorpsi Beton ($f_{cr} = 20$ MPa)



Sumber : Amy Wadu (2014)

Gambar 2.5 Grafik Nilai Absorpsi Beton ($f_{cr} = 25$ MPa)



Sumber : Amy Wadu (2014)

Gambar 2.6 Grafik Nilai Absorpsi Beton ($f_{cr} = 30$ 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 laut lebih besar daripada perawatan dengan air biasa. Selain itu, semakin tinggi mutu beton, mengakibatkan nilai absorpsi semakin kecil, karena beton semakin tinggi mutu beton maka beton semakin padat.

2.2 Abu Terbang (*Fly Ash*) dalam Campuran Beton

Abu terbang (*fly ash*) merupakan limbah hasil pembakaran batu bara pada tungku pembangkit listrik tenaga uap yang berbentuk halus, bundar dan bersifat pozzolanik (SNI 03-6414-2002). Sifat Pozzolanik adalah kemampuan bereaksi dengan kapur bebas yang dilepaskan semen saat proses hidrasi dan membentuk senyawa yang bersifat mengikat pada temperatur normal dengan adanya air.

Adapun karakteristik *fly ash*, diantaranya :

(a) Karakteristik fisik

Secara fisik, *fly ash* merupakan partikel yang sangat halus, material serbuk, komposisi terbesar yaitu silika, berbentuk hampir bulat, dan berwarna putih kecoklatan dengan densitas curah 800 kg/m^3 . Ukuran partikel abu terbang hasil pembakaran batubara *bituminous* lebih kecil dari $0,075 \text{ mm}$. Kerapatan abu terbang berkisar antara 2100 sampai 3000 kg/m^3 dan luas area spesifiknya antara 170 sampai $1000 \text{ m}^2/\text{kg}$, sedangkan ukuran partikel rata-rata abu terbang batubara jenis *sub-bituminous* $0,01\text{mm}$ – $0,015 \text{ mm}$, luas permukaannya $1\text{-}2 \text{ m}^2/\text{g}$, massa jenis $2,2$ – $2,4$ dan bentuk partikel *mostly spherical*, yaitu sebagian besar berbentuk seperti bola, sehingga menghasilkan mampu kerja yang lebih baik (Antoni, 2007).

(b) Karakteristik kimia

Komponen utama dari *fly ash* adalah silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), besi oksida (Fe_2O_3), kalsium (CaO); dan magnesium, potasium, sodium,

titanium, dan belerang dalam jumlah yang sedikit. Adapun komposisi dan klasifikasi *fly ash* dapat dilihat pada **Tabel 2.3**.

Tabel 2.3 Komposisi (%) *Fly Ash* Batubara

Senyawa	Jenis Batubara		
	<i>Bituminous</i>	<i>Sub-bituminous</i>	<i>Lignite</i>
SiO ₂	20-60	40-60	15-45
Al ₂ O ₃	5-35	20-30	10-25
Fe ₂ O ₃	10-40	4-10	4-15
CaO	1-12	5-30	14-40
MgO	0-5	1-6	3-10
K ₂ O	0-3	0-4	0-4
Na ₂ O	0-4	0-2	0-10
SO ₃	0-4	0-2	0-10
LOI	0-15	0-3	0-5

Sumber : Bambang, 2011.

Berdasarkan *ACI Manual of concrete Practice 1993 Part I 226.3R-3*, *fly ash* dikelompokkan menjadi beberapa jenis berdasarkan kadar senyawa kimiawi (SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃), kadar CaO dan kadar karbon. Adapun jenis dari *fly ash*, yaitu :

(a) Kelas C

Pada *fly ash* kelas C mengandung CaO diatas 10% yang berasal dari pembakaran *lignite* atau *sub-bitumen* batubara. Untuk kadar SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ diatas 50%. Kadar karbon (C) pada kelas ini yaitu 2%. Dalam campuran beton, jumlah *fly ash* yang boleh digunakan sebanyak 15-35% dari berat selinder.

(b) Kelas F

Pada *fly ash* kelas F mengandung CaO dibawah 10% yang dihasilkan dari pembakaran *anthracite* atau bitumen batubara. Untuk kadar SiO₂ +

$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ diatas 70%. Kadar karbon (C) pada kelas ini yaitu 5-10%. Dalam campuran beton, jumlah *fly ash* yang boleh digunakan sebanyak 15-25% dari berat silinder.

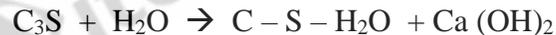
(c) Kelas N

Yang termasuk kelas ini yaitu tanah *diatomic*, *opaline chertz*, *shales*, *tuff* dan abu vulkanik, baik hasil pozzolan alam yaitu tidak melalui proses pembakaran maupun hasil pembakaran.

Pada umumnya, abu terbang (*fly ash*) memiliki kadar senyawa kimiawi yaitu $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$. Apabila *fly ash* bereaksi dengan campuran beton, dapat diuraikan sebagai berikut :

(a) Mereduksi kandungan kalsium hidroksida dalam beton

Kalsium hidroksida merupakan unsur yang bersifat alkali dan dapat menyebabkan beton diserang oleh garam sulfat. Kalsium hidroksida sendiri terbentuk dari hasil proses hidrasi semen dengan air. Dengan reaksi sebagai berikut.



Akibat dari senyawa SiO_2 yang terdapat pada *fly ash*, kalsium hidroksida dapat diubah menjadi kalsium silikat hidrat yang merupakan sumber kekuatan beton. Dengan reaksi sebagai berikut.



(b) Sebagai bahan pengisi dalam beton

Kalsium Silikat Hidrat dapat mengurangi porositas yang terdapat pada beton dan mengisi pori-pori beton, sehingga menimbulkan beton yang kuat, lalu akhirnya serangan sulfat dapat dicegah.

(c) Reduksi kalsium hidroksida oleh Silikat (SiO_2) dapat mengurangi agresifitas sulfat terhadap beton, sehingga beton tidak mudah rusak.

2.3 Substitusi Pasir oleh *Fly Ash*

Agregat merupakan salah satu material terpenting dalam pembuatan beton. Kandungan agregat dalam campuran beton berkisar antara 60% – 70%. Agregat memiliki fungsi sebagai bahan utama pengisi beton, yaitu menyusun masa beton sepadat mungkin membangun kekuatan beton.

Menurut ASTM C-33, agregat dibagi atas dua kelompok, yaitu agregat kasar dan agregat halus. Agregat kasar (*coarse aggregate*) yaitu agregat dengan ukuran butiran $> 4,75$ mm (saringan ASTM no. 4). Agregat kasar yang banyak digunakan yaitu kerikil atau batu pecah. Sedangkan, Agregat halus (*fine aggregate*) yaitu agregat dengan ukuran $\leq 4,75$ mm (saringan ASTM No. 4). Agregat halus yang sering digunakan yaitu pasir.

Pada pembuatan beton, pada umumnya agregat kasar yang digunakan yaitu kerikil atau batu pecah, sedangkan agregat halus yang sering digunakan yaitu pasir. Akan tetapi, pada kondisi tertentu terkadang agregat halus yang digunakan tidak selalu pasir. Hal ini tergantung pada faktor lingkungan, dimana tempat beton akan digunakan. Beton pada umumnya tidak tahan terhadap serangan kimia, baik itu serangan alkali maupun serangan sulfat. Serangan alkali terjadi disebabkan oleh reaksi dari semen dalam keadaan basa yang menyebabkan agregat mengembang dan beton retak. Sedangkan serangan sulfat terjadi akibat lingkungan seperti air laut.

Pada bahasan sebelumnya, dijelaskan bahwa untuk mengatasi serangan sulfat oleh air laut, dapat dilakukan dengan menggunakan abu terbang (*fly ash*). Karena ukuran abu terbang $< 4,75$ mm dan sifat dari abu terbang mirip dengan pasir, maka dapat diasumsikan abu terbang dapat digunakan sebagai agregat halus pengganti pasir. Akan tetapi, pasir yang digantikan oleh abu terbang tidak 100%, karena ukuran butiran *fly ash* lebih kecil dari ukuran terkecil butiran pasir, sehingga apabila diganti seluruhnya gradasi agregat halus menjadi sangat halus, sehingga tidak memenuhi persyaratan gradasi pasir yang dinyatakan dalam modulus kehalusan yang besarnya 1,5 – 3,5 menurut SNI. Sedangkan, apabila abu terbang digunakan sebagai pengganti

sebagian (substitusi) pasir, maka akan menyebabkan kepadatan bertambah karena ukuran butiran *fly ash* lebih besar daripada butiran semen, tetapi lebih kecil dari butiran terkecil pasir. Hal ini akan berakibat kuat tekan beton meningkat dalam jangka pendek (28 hari) dan kuat tekan akan meningkat lagi dalam jangka panjang akibat reaksi SiO_2 pada *fly ash* dengan Ca(OH)_2 .

Jika kepadatan meningkat maka porositas akan makin mengecil, sehingga akan meningkatkan durabilitas beton. Selain itu, meningkatnya kuat tekan akibat substitusi *fly ash* akan mengeliminasi gejala menurunnya kuat tekan rencana pada beton yang terendam air laut.

Dari penjelasan yang sudah dipaparkan dapat ditarik dugaan bahwa jika dalam perancangan beton pada lingkungan air laut menggunakan bahan tambah berupa *fly ash* sebagai substitusi pasir diprediksi dapat meningkatkan durabilitas beton terhadap serangan sulfat dan klorida. Durabilitas beton akan dapat ditingkatkan karena Ca(OH)_2 yang terdapat dalam pasta semen sebelum bereaksi dengan sulfat yang terdapat pada air laut, semen akan bereaksi terlebih dahulu dengan SiO_2 yang terdapat pada *fly ash*, akibatnya beton menjadi lebih kuat dan lebih padat sehingga porositasnya berkurang. Akibatnya sulfat tidak dapat bereaksi dan ion klorida pada air laut tidak dapat masuk karena porositas beton berkurang. Dugaan atau hipotesa ini, perlu dibuktikan melalui penelitian.