

BAB II

TEORI DASAR

Air harus tersedia dalam campuran beton selain untuk hidrasi, juga agar beton dalam kondisi awal dalam keadaan lecah (*workable*). Kelecekan (*workability*) diperlukan untuk memudahkan penuangan beton pada bekisting. Semen tidak akan berubah menjadi pasta untuk merekatkan agregat tanpa adanya air.

Pengaruh ion Chlorida dalam air akan mempengaruhi karakteristik beton dan tulangan beton. Pengaruh ion Chlorida pada kuat tekan beton dapat menurunkan atau menaikkan kuat tekan. Sedangkan pengaruh ion Chlorida pada tulangan akan mempengaruhi kuat tariknya.

II.1. Pengaruh Air Pada Kuat Tekan Beton

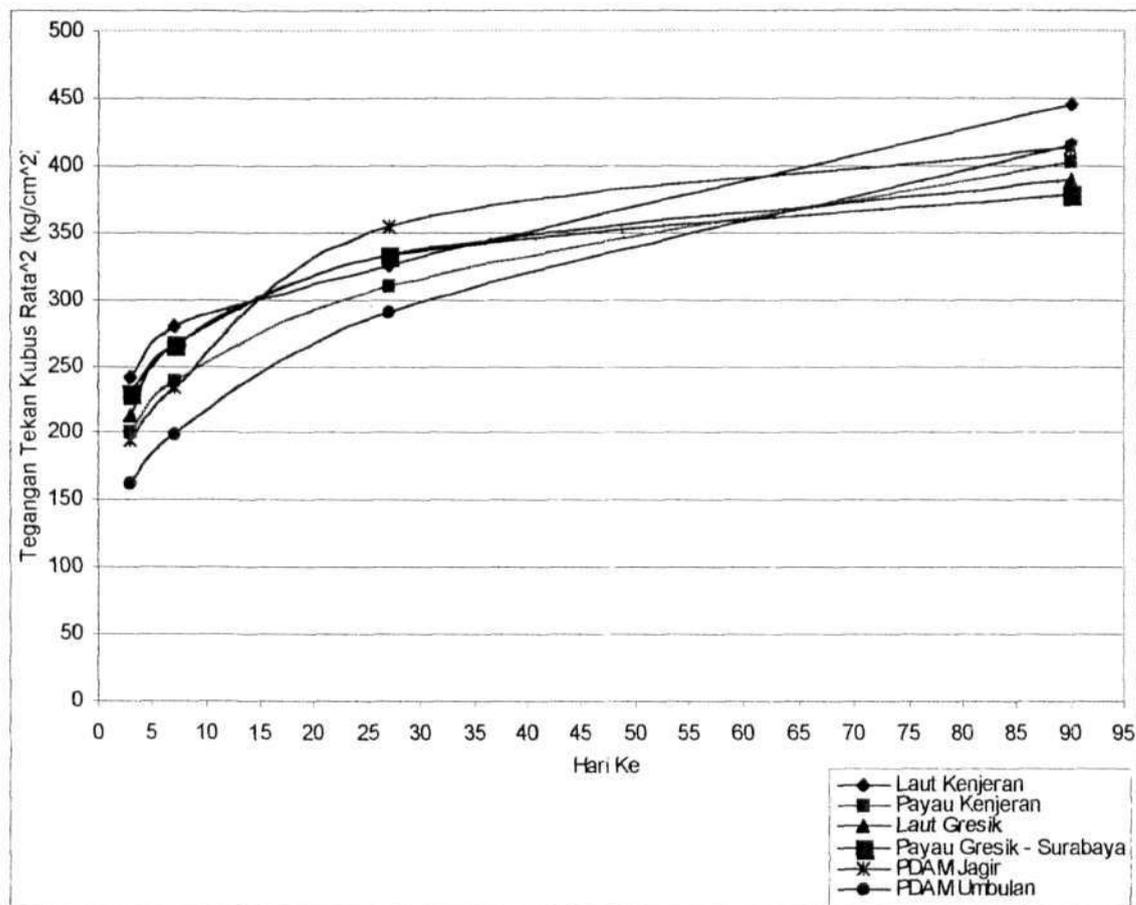
Penelitian pendahuluan telah menunjukkan bahwa penggunaan air khususnya air yang mengandung kadar ion Chlorida tinggi seperti air laut, jika dibandingkan dengan menggunakan air PAM, tidak menunjukkan adanya penurunan kuat tekan beton pada berbagai umur hingga umur 90 (Program Diploma III, 1991:Lampiran Tabel 6-4):

No.	Lokasi Air Contoh	Hari Ke	Tegangan Tekan Kubus Rata ² (kg/cm ²)
1	Laut Kenjeran	3	241.49
		7	278.9
		27	325.39
		90	445.56
2	Payau Kenjeran	3	200.67
		7	239.22
		27	310.65
		90	402.48
3	Laut Gresik	3	212.01
		7	265.3
		27	333.32
		90	388.88
4	Payau Gresik-Surabaya	3	230.15
		7	266.43
		27	332.19
		90	378.67
5	PAM Jagir	3	193.87
		7	234.69
		27	354.86
		90	412.69
6	PAM Umbulan	3	162.13
		7	198.87
		27	290.24
		90	414.95

Tabel II.1 : Kekuatan Beton Campuran 1:2:3 Dengan Berbagai Jenis Air

Bahkan pada penggunaan air laut dari contoh yang diambil di Kenjeran, dalam jangka panjang hingga umur 90 hari, kekuatan tekan beton lebih tinggi daripada beton yang menggunakan air PAM. Namun air laut dari contoh yang diambil di Gresik, dalam jangka panjang hingga umur 90 hari, kuat tekannya di bawah daripada beton yang menggunakan air PAM.

Berikut gambar tekanan kuat tekan kubus rata-rata yang diolah dari Tabel Kekuatan Beton Campuran 1:2:3 Dengan Berbagai Jenis Air (Program Diploma III, 1991:Lampiran Tabel 6-4) :



Gambar II.1 : Kekuatan Beton Campuran 1:2:3 Dengan Berbagai Jenis Air

II.2. Kualitas Air

Jumlah air yang terikat dalam beton dengan faktor air semen 0,65 adalah sekitar 20% dari berat semen pada umur 4 minggu. Dihitung dari komposisi mineral semen, jumlah air yang diperlukan untuk hidrasi secara teoritis adalah 35 – 37% dari berat semen (Nugraha, 1989:61).

Kualitas air pada campuran beton akan berpengaruh pada mutu beton. Namun pada sisi lain karena kondisinya tidak memungkinkan, terpaksa digunakan

air yang tersedia di lapangan dan tentunya kualitas air yang digunakan di setiap lokasi akan berbeda pula. Komposisi dan konsentrasi setiap unsur kimia pada air akan memberikan pengaruh yang berbeda-beda pada beton.

II.2.1. Penggolongan Kualitas Air

Air mengandung beragam unsur kimia dimana setiap unsur yang ada akan memberikan pengaruh yang berbeda pada suatu penggunaan. Untuk setiap penggunaan terdapat batasan konsentrasi yang dapat ditoleransi.

Tujuan penggunaan tersebut didasarkan pada Standart Skala Kualitas Lingkungan yang berdasarkan Keputusan Menteri Kependudukan dan Lingkungan Hidup No. KEP-02/MENKLH/I/1988 tanggal 19 Januari 1988.

Dalam surat keputusan itu terdapat batasan konsentrasi suatu unsur dan standart kualitas air yang dapat digolongkan menjadi (Phengkusaksomo, 1999:12) :

Kualitas Air	Nilai & Rentangan				
	1	2	3	4	5
Warna	hitam coklat	agak coklat	kuning	agak kuning	tenang
Rasa	asin	payau	asam	agak asam	tawar
Bau	sangat berbau	berbau tanpa di cium langsung	berbau kalau di cium langsung	agak berbau kalau dicium langsung	tidak berbau berwarna
Kekeruhan	keruh berlumpur	keruh	agak keruh	bening berwarna	berwarna
Kesadahan	> 100	75 - 100	50 - 75	25 - 50	25
DHL	> 3000	2000 - 3000	750 - 2000	250 - 750	< 250
Salinitas	> 1.5	1.1 - 1.5	0.6 - 1.0	0 - 0.5	0
Chloride (Cl) mg/l	> 600	300 - 600	200 - 300	100 - 200	< 100
Sulfat (SO ₄) mg/l	> 400	300 - 400	200 - 300	100 - 200	< 100
Nitrit (NO ₂) mg/l	> 5	1 - 5	0 - 0.1	0.01 - 0.1	< 0.01
Nitra (NO ₃) mg/l	> 100	50 - 100	10 - 50	5 - 10	< 5
pH	< 3.5	3.5 - 4.5	4.5 - 5	5.5 - 6.5	6.5 - 7.5
	> 10.5	9.5 - 10.5	8.5 - 9.5	7.5 - 8.3	

Tabel II.2 : Kualitas Air Sesuai Kep. Men. KLH No. 02/1988

Berdasarkan tabel tersebut dapat diketahui konsentrasi Chloride dan Sulfat yang diijinkan untuk setiap penggolongan penggunaan seperti :

- Golongan I, kualitas air paling rendah yang harus diolah terlebih dahulu.
- Golongan II, air untuk kebutuhan pertanian, listrik tenaga air dan lalu lintas.
- Golongan III, air untuk kebutuhan perikanan dan peternakan.
- Golongan IV, air untuk kebutuhan rumah tangga.
- Golongan V, air untuk kebutuhan air minum yang dapat langsung digunakan tanpa pengolahan.

II.2.2. Korosivitas Air

Air pada kondisi tertentu akan menjadi penyebab proses korosi dengan laju tertentu. Faktor-faktor yang mempengaruhi korosivitas lingkungan air antara lain (Phengkusaksomo, 1999:19) :

- Karakteristik fisik meliputi kecepatan aliran dan temperatur air.
- Karakteristik kimia meliputi pH, konsentrasi karbon dioksida dan alkalinitas air.
- Karakteristik biologi meliputi jumlah mikroorganisme aerob maupun anaerob dalam lingkungan air.

II.3. Semen Portland Pozzolan Tipe A

Dalam konstruksi, tipe semen yang sering digunakan adalah semen portland tipe I di mana dalam penggunaannya, semen jenis ini tidak memerlukan syarat – syarat tertentu seperti ketahanan terhadap lingkungan yang bersifat asam agresif dan yang mengandung sulfat.

Semen Portland Pozzolan Tipe A produksi PT Semen Gresik (Persero) adalah salah satu jenis semen yang dapat digunakan untuk lingkungan yang bersifat asam agresif dan yang mengandung sulfat. Semen tipe ini cocok untuk digunakan pada konstruksi di sekitar atau pada daerah sungai dan pantai. Semen portland pozzolan memiliki beberapa keunggulan teknis yang sangat cocok digunakan di daerah pantai. Keunggulan teknis tersebut antara lain (PT Semen Gresik, 1994:4) :

- Tahan terhadap kondisi lingkungan yang bersifat asam agresif.
- Tahan terhadap kondisi lingkungan yang mengandung sulfat.
- Panas hidrasinya rendah.

Daya tahan semen pozzolan di lingkungan yang bersifat asam agresif dan memiliki kadar sulfat tinggi menyebabkan jenis semen ini dapat digunakan diberbagai lokasi tanpa memerlukan persyaratan khusus. Jenis semen ini dapat digunakan untuk struktur beton di daerah pantai.

Panas hidrasi yang rendah pada semen pozzolan akan memperkecil terjadinya kemungkinan retak pada beton dan sekaligus meningkatkan tingkat kekedapan beton. Jenis semen ini dapat digunakan untuk bangunan air seperti bendungan.

II.4. Korosi Tulangan Beton Akibat Chlorida

Besarnya kadar NaCl pada air akan mempengaruhi laju korosi yang terjadi pada suatu jenis tulangan beton. Laju korosi *430 feritic steel* dengan *316 austenitic steel* pada larutan Ca(OH)₂ yang secara bertahap ditambahkan NaCl, akan menghasilkan laju korosi yang berbeda untuk setiap penambahan NaCl dan untuk setiap tulangan.

Penelitian laju korosi pada tulangan ini dilakukan selama 24 jam dengan menggunakan *Potentiostatic Polarization* dan *Galvanostatic Polarization*. Pada tes dengan menggunakan *Galvanostatic Polarization*, tulangan dialiri arus dengan kepadatan $10\mu\text{A}/\text{cm}$ dan kemudian perubahan arus yang terjadi dicatat pada interval waktu tertentu. Pada tes dengan menggunakan *Potentiostatic Polarization*, pada tulangan diberikan tegangan yang secara bertahap dinaikkan dari $-1,4\text{V}$ sampai dengan 1 V_{SCE} dimana besar setiap kenaikan tegangan adalah 50mV (Brown & Treadway, 1978:3)

Kesimpulan umum dari penambahan kadar NaCl, pengukuran dengan menggunakan peralatan *Potenitostatic Polarization* dan *Galvanostatic Polarization*, didapat hasil :

- Dengan menggunakan *Galvanostatic Polarization* :

- Pada *430 feritic steel*

- Kadar NaCl tinggi 0 – 0,03 M : laju korosi rendah.

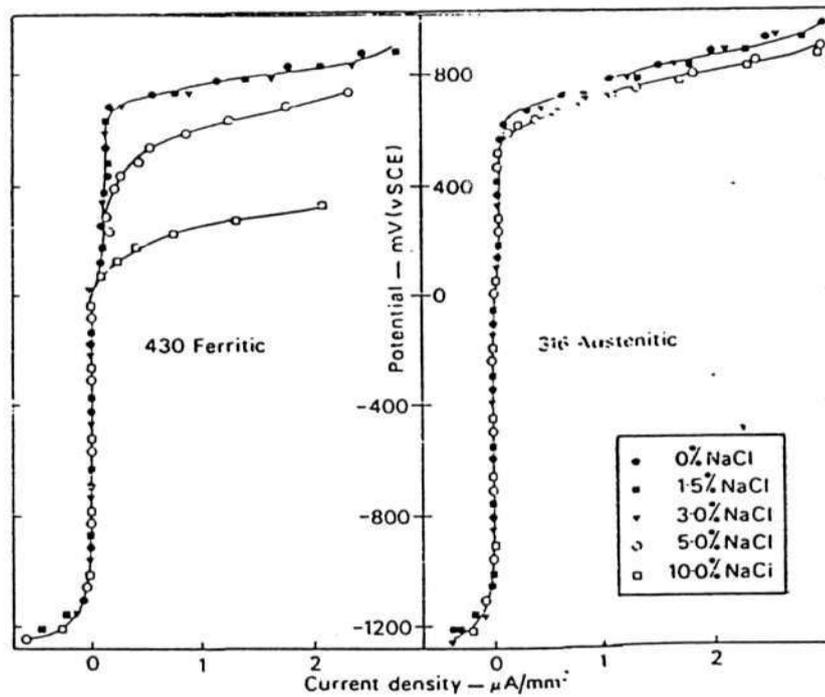
- Kadar NaCl tinggi 0,17 – 2,82 M : laju korosi tinggi.

- Pada *316 austenitic steel*

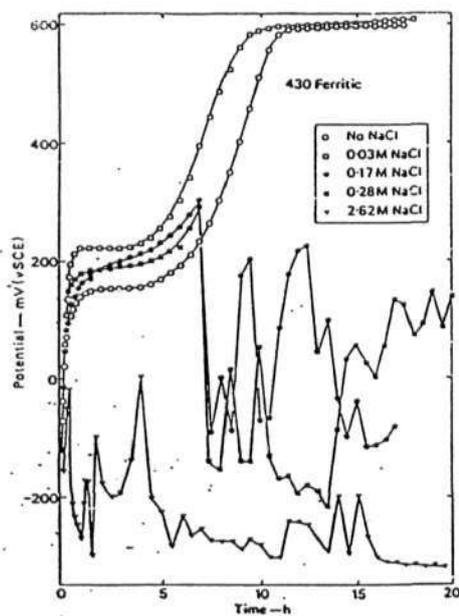
- Kadar NaCl tinggi 0 – 0,14 M : laju korosi rendah.

- Kadar NaCl tinggi 2,82 M : laju korosi tinggi.
- Dengan menggunakan *Potentiostatic Polarization* :
 - Kadar NaCl tinggi, laju korosi tinggi Potensial mV(V_{SCE}) akan turun.

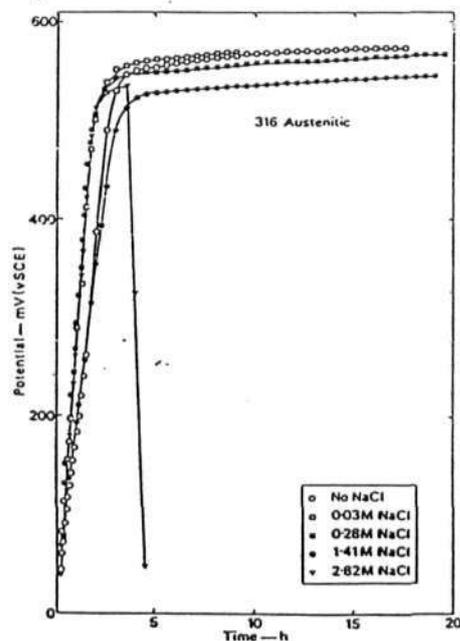
Hasil dalam gambar adalah (Brown, Harrop & Treadway, 1978:11-12) :



Gambar II.2 : *Potentiostatic Polarization* pada 430 ferritic steel dan 316 austenitic steel di dalam mortar.



Gambar II.3 : Galvanostatic Polarization dari 430 ferritic steel di dalam larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang mengandung Chlorida



Gambar II.4 : Galvanostatic Polarization dari 316 austenitic steel di dalam larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang mengandung Chlorida

II.5. Jenis Korosi Pada Logam

Berdasarkan pada proses terjadinya korosi, korosi untuk lingkungan air secara ringkas dapat dibedakan menjadi :

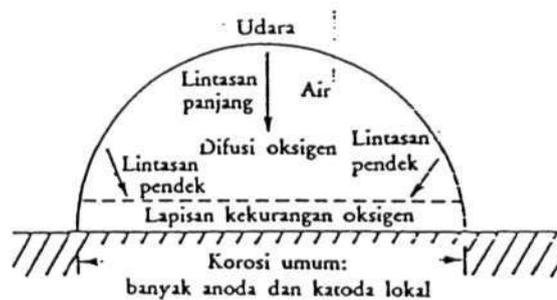
II.5.1. Korosi Lubang (*Pitting*)

Korosi ini terjadi pada suatu lokasi tertentu pada suatu logam. Korosi ini paling merusak dan berbahaya dikarenakan adanya perbedaan struktur pada permukaan logam sehingga terbentuk sisi anoda dan katoda.

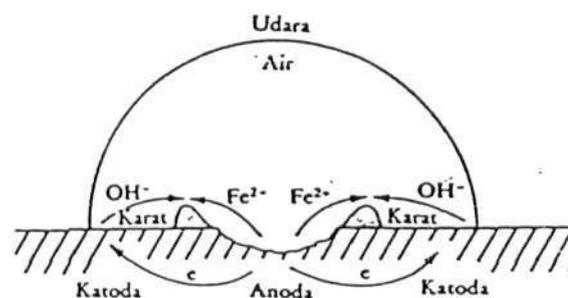
Mekanisme terjadinya korosi lubang ini berasal dari proses korosi yang normal, tetapi hasil dari endapan proses korosi berupa tonjolan-tonjolan yang menjadi tempat tergenangnya air. Akibatnya terjadi perbedaan aerasi atau

perbedaan jumlah konsentrasi oksigen yang selanjutnya menimbulkan daerah anoda dan katoda (Trethewey & Chamberlain, 1991:142) :

II.5.1.1. Mekanisme sumuran akibat aerasi-diferensial di bawah butir air. Korosi umum diseluruh permukaan logam yang basah menyebabkan berkurangnya kandungan oksigen dalam elektrolit di dekatnya (Trethewey & Chamberlain, 1991:42).



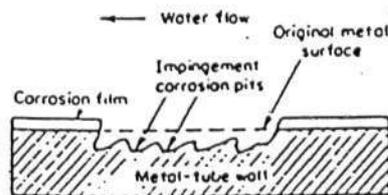
II.5.1.2. Mekanisme sumuran akibat aerasi-diferensial di bawah butir air. Karena lebih panjang lintasan yang harus ditempuh oksigen untuk mencapai bagian tengah maka bagian ini menjadi anoda. Akibatnya pelarutan logam terjadi di bagian tengah titik air dan reaksi ion logam dengan ion hidroksil menyebabkan penumpukan produk korosi diseperti lubang sumuran dan membentuk cincin karat (Trethewey & Chamberlain, 1991:142).



II.5.2. Korosi Erosi (*Erosion*)

Karena adanya gerakan relatif antara permukaan logam dengan air, maka terjadi pengikisan (abrasi) pada permukaan logam sehingga ion-ion logam akan larut atau menghasilkan korosi yang padat.

Korosi ini biasa terjadi pada bagian logam yang mengalami gesekan akibat adanya kecepatan aliran air yang tinggi atau terjadi turbulensi seperti pada sudut pipa. Pada tulangan terjadi pada beton yang telah mengelupas, tepat daerah yang terkena ombak (Fontana, 1987:91) :



Gambar II.5. : Korosi Erosi pada dinding pipa

II.5.3. Korosi Merata (*Uniform*)

Korosi yang terjadi pada seluruh permukaan logam yang kontak dengan air dengan intensitas yang sama. Akibat korosi ini biasanya logam akan mengalami kehilangan berat paling besar dibandingkan dengan korosi lain.

Korosi ini biasa terjadi pada baja karbon yang berada dalam lingkungan maupun korosif, sedangkan pada tembaga terjadi laju korosi yang rendah karena adanya lapisan film pelindung pada permukaannya sehingga tembaga memiliki ketahanan korosi yang tinggi (Phengkusaksomo, 1999:13).

II.6. Ion Chlorida

Senyawa Sodium Chlorida merupakan asam kuat ($\text{pH} < 7$) yang agresif dalam air sehingga air menjadi media yang korosif bagi logam. Semakin tinggi konsentrasi ion Cl^- maka semakin tingkat korosivitas air tersebut dan laju korosi pada tulangan akan makin meningkat. Disosiasi Sodium Chlorida sebagai berikut:



Asam yang lebih kuat akan memiliki nilai K_a yang lebih tinggi dan asam dengan nilai $K_a > 10$ akan dianggap sebagai asam kuat. Tabel berikut akan membandingkan tetapan ionisasi asam (K_a) dari unsur Chlorida terhadap unsur yang lain sebagai berikut (Phengkusaksomo, 1999:25)

Rumus Asam	Tetapan Keasaman [K_a]
Kuat	
HCl	$\sim 10^7$
H ₂ SO ₄	$\sim 10^5$
Sangat Lemah	
H ₂ O	1.8×10^{-16}

Tabel II.3 : Tetapan Keasaman

II.6.1. Sodium Chlorida Sebagai Elektrolit

Elektrolit (dalam bahasa Yunani artinya “pembawa listrik”) adalah zat yang larutannya dalam air dapat menghantarkan listrik. Zat elektrolit dapat berupa senyawa ionik atau senyawa kovalen. Semua senyawa ionik sudah tentu merupakan senyawa elektrolit, sebab pasti menghasilkan ion saat dilarutkan dalam air.

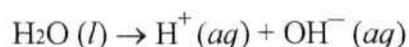
Sodium Chlorida adalah salah satu contoh senyawa ionik dimana dalam keadaan padat, NaCl tersusun dari ion Na^+ dan Cl^- . Ketika NaCl dilarutkan ke dalam air, ion Na^+ dan Cl^- akan mengalami hidrasi (terikat oleh molekul air). Dalam keadaan terhidrasi, semua ion ini akan bergerak bebas ke seluruh bagian larutan.

Chlorida acid HCl adalah senyawa kovalen dan sebelum larut dalam air, HCl merupakan senyawa gas yang tidak mengandung ion, sehingga tidak dapat menghantarkan listrik. Saat HCl dilarutkan dalam air terjadi pembentukan ion H^+ dan Cl^- .

NaCl dan HCl termasuk elektrolit kuat karena pada saat dilarutkan dalam air seluruh ionnya akan terlepas (terionisasi sempurna) dan ini membuat senyawa tersebut memiliki daya hantar listrik yang kuat.

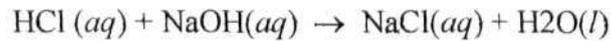
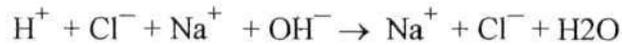
II.6.2. Sodium Chlorida Sebagai Garam

Air juga merupakan senyawa elektrolit, tetapi termasuk dalam elektrolit yang lemah. Persamaan ionisasi air sebagai berikut (Anshory & Ahmad 1996:69):

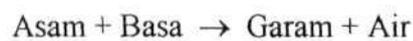


Larutan netral (dengan $\text{pH} = 7$) tersebut berubah menjadi larutan asam H^+ dan larutan basa OH^- .

Jika dalam larutan netral tersebut terdapat senyawa HCl dan NaOH (senyawa basa yang dalam keadaan murni berbentuk padat), maka persamaan reaksinya akan menjadi:



Dari reaksi tersebut didapat garam NaCl yang tersusun dari reaksi asam dan basa. Garam juga merupakan elektrolit karena terlarut dalam wujud ion. Jadi reaksi penetralan secara umum dapat dituliskan menjadi (Anshory & Ahmad, 1996:84) :



Garam-garam Sodium yang terkandung dalam air laut dapat menghasilkan substansi yang bila berkombinasi dengan agregat alkali yang reaktif, sama seperti dengan kombinasi dengan semen alkali. Karena itu air laut tidak boleh dipakai untuk beton yang diketahui mempunyai potensi agregat alkali reaktif, bahkan bila kadar alkalinya rendah. (Nugraha, 1990:65).

Sebagian dari garam-garam ini akan bereaksi secara kimiawi dengan semen dan mengubah atau memperlambat proses pengikatan semen, jenis-jenis lainnya dapat mengurangi kekuatan beton (Kusnadi, 65).

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 1989:169).

Karena itu walaupun kekuatan awalnya lebih tinggi dari beton biasa, setelah 28 hari kuat tekannya akan lebih rendah. Pengurangan kekuatan ini dapat dikurangi dengan mengurangi faktor air semen.

II.6.3. Batasan Ion Chlorida Dalam Beton

Untuk perlindungan terhadap korosi SK SNI S-1990-03 mengadopsi maksimum kadar ion Chlorida pada beton yang diijinkan menurut *ACI Building Code 318-38* di mana ditetapkan maksimum kadar ion Chlorida pada beton (termasuk agregat, semen dan admixture) pada saat umur 28 hari (Mehta, 1986:157) :

Jumlah konsentrasi ion Chlorida maksimum yang terdapat dalam beton yang telah mengeras pada usia 28 hingga 42 hari yang didapat dari bahan campuran termasuk air, agregat, bahan bersemen dan bahan campuran tambahan tidak boleh melampaui nilai batas yang diberikan berikut (Nugraha, 1989:62) :

Jenis Komponen Struktur Beton	Jumlah Maksimum Ion Klorida (Cl Yang Larut Dalam Air) Dalam Beton Dinyatakan Dalam % Terhadap Massa Semen
Beton Prategang	0.06
Beton bertulang berhubungan dengan klorida	0.15
Beton bertulang yang selalu kering atau terlindung dari lembab	1
Beton polos	0.3

Tabel II.4 : Ketentuan Jumlah Ion Chlorida Maksimum Dalam Beton

II.6.4. Pengaruh Senyawa Chlorida Pada Mutu Beton.

Tidak ada ketentuan syarat air dari ASTM, namun pada BS 3148, ada dua metode untuk menilai kelayakan air untuk beton. Metode tersebut akan membandingkan waktu pengikatan dan kuat tekan dari benda uji yang dibuat dengan semen dan air yang dipertanyakan dengan air suling. Air dianggap memenuhi syarat jika waktu pengikatannya tidak lebih dari 30 menit atau kekuatannya tidak berkurang dari 20% dibandingkan air suling (Nugraha, 1989:63).

Penggunaan air di daerah pantai untuk campuran beton akan memberikan beberapa pengaruh pada beton seperti *setting time* dan kuat tekan beton dalam jangka waktu tertentu. Senyawa Chlorida merupakan salah satu senyawa yang memiliki konsentrasi besar yang biasanya terkandung dalam air di daerah pantai (Neville, 1981:349) :

Kotoran	Konsentrasi Max. [ppm]	Keterangan
Sodium Chlorida	20000	Mengurangi setting time, kekuatan dini bisa besar, tapi kekuatan akhir bisa kecil.
Calcium Chlorida	50000	
Magnesium Chlorida	40000	

Tabel II.5 : Pengaruh Unsur Kimia Pada Beton

II.6.5. Konsentrasi Garam Pada Air Laut.

Air laut mengandung sekitar 3,5% garam yang terdiri dari 78% *Sodium Chlorida* NaCl dan 15% lainnya terdiri dari *Magnesium Chlorida* MgCl₂ dan *Magnesium Sulfat* MgSO₄ dan menghasilkan kekuatan awal yang tinggi tapi dalam jangka panjang, kekuatan akhir menurun (Neville,1981:349).

Penelitian tentang konsentrasi unsur di beberapa lautan di dunia telah dilakukan dan terdapat beberapa unsur yang memiliki kadar konsentrasi yang cukup besar yang akan mempengaruhi mutu beton bila air tersebut digunakan sebagai bahan campuran beton. Konsentrasi unsur diberbagai lautan tersebut (Brown & Baker, 1979:111) :

Ion	North Sea		Atlantic Ocean		Baltic Sea		Persian Gulf	
	[g/100 ³]	[mg/l]						
Sodium	1.22	12200		0	0.219	2190	1.31	13100
Potassium	0.055	550	0.04	400	0.007	70	0.067	670
Calcium	0.043	430	0.048	480	0.005	50	0.05	500
Magnesium	0.111	1110	0.121	1210	0.026	260	0.148	1480
Chloride	1.655	16550	2	20000	0.396	3960	2.3	23000
Sulphate	0.222	2220	0.218	2180	0.058	580	0.4	4000
Total	3.306	33060	3.537	35370	0.711	7110	4.275	42750

Tabel II.6 : Concentration of Soluble Salts for Various Seas

Konsentrasi setiap unsur kimia pada air laut pada suatu lokasi untuk setiap waktu tidak sama. Berikut ini adalah tabel yang menunjukkan perbedaan konsentrasi unsur kimia yang diambil dari lokasi yang sama pada jam yang sama namun hari yang berbeda.

Ion	25 Juli '00 [mg/l]	13 September '00 [mg/l]	Test Methode
Sodium (Na)	7,360.40	11,794.90	A A S
Kalsium (K)	449.3	407.6	A A S
Calcium (Ca)	283.2	253.8	Complexometric
Magnesium (Mg)	1,094.50	945.7	Complexometric
Sulphate (SO ₄)	1,207.20	2,207.20	Turbidimetric
Total Iron (Fe)	0.83	< 0.04	A A S
Chloride (Cl)	13,322.80	17,191.80	Argentometric
Salinity as NaCl	21,966.70	28,345.80	Argentometric

Tabel II.7 : Konsentrasi Garam Pada Air Contoh Kenjeran