

2011

**KOROSI PADA BETON**

Oleh :

Ir. CECILIA LAUW, M.Sc.

Universitas Katolik Parahyangan  
Jl. Merdeka 19  
**BANDUNG**

**SEMINAR**  
**KOROSI & CAT ANTI KOROSI/HEAVY DUTY**  
KERJA SAMA P.T.PROPAN RAYA - JURUSAN SIPIL UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN  
UNPAR - 26 MEI 1990  
BANDUNG

No. 620.112.23 SEM h.

47579 1-6-90

Fak. Teknik - UMPAR.

## KOROSI PADA BETON

\*)

Oleh : Ir. Cecilia Lauw, M.Sc.

\*\*)

---

### ABSTRAK

Korosi pada beton belum mendapat perhatian sebesar korosi pada baja, karena umumnya beton tidak membutuhkan pemeliharaan atau perbaikan yang berat selama masa pakainya. Karena beton yang terkorosi sulit diperbaiki, para perencana bangunan seyogyanya memahaminya dengan baik, dan senantiasa waspada, jika menjumpai faktor-faktor yang dapat menyebabkan berlangsungnya proses korosi pada beton.

Secara ringkas diuraikan penyebab dan akibat korosi secara umum, diklasifikasikan dalam tiga kelompok yaitu leaching corrosion (akibat air lunak, asam, dan asam karbonat), base exchange corrosion (akibat ion magnesium, ion amonium, ion nitrat dan nitrit, serta ion chlor), swelling corrosion (akibat ion sulfat, ion hidrosil, dan reaksi alkali-agregat). Korosi akibat pengaruh lingkungan air laut merupakan hal yang menarik, karena proses perusakan beton bisa diakibatkan oleh kombinasi antara korosi dan abrasi oleh gelombang laut. Maka tipe perusakan beton dapat dibedakan menurut kondisi kontakannya dengan air laut (atmospheric zone, tidal zone, dan submerged zone).

Pengalaman menunjukkan bahwa kemungkinan berlangsungnya korosi yang hebat diawali oleh permeabilitas yang tinggi dari betonnya sendiri. Maka jika diperhitungkan dapat terjadi korosi, perencanaan campuran beton dan pelaksanaan pembuatannya harus mendapat perhatian yang serius supaya beton serapat mungkin. Permeabilitas beton yang rendah akan mempersulit berlangsungnya serangan korosi pada beton.

Perlindungan terhadap korosi pada hakekatnya adalah mencegah berlangsungnya reaksi kimia antara substansi yang agresif dengan beton. Untuk dapat menentukan metoda perlindungan beton yang paling efektif dan ekonomis, perlu dikaji dengan saksama kombinasi pengaruh dari substansi yang agresif dan kondisi lingkungan dimana struktur beton tersebut akan didirikan.

47579 I T  
1/6-90

---

\*) Disajikan pada Seminar Korosi & Cat Anti Korosi/Heavy Duty, kerja sama antara Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Katolik Parahyangan dengan P.T. PROPAN RAYA, UNPAR - 26 Mei 1990, Bandung.

\*\*\*) Dosen Tetap Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Katolik Parahyangan.

## I. PENDAHULUAN

Korosi pada beton adalah serangan dan disintegrasi struktur beton akibat pengaruh cairan atau uap yang agresif. Dengan demikian, korosi pada beton adalah hasil dari suatu proses kimiawi.

Pembuatan struktur beton massa dimulai di abad ke-19. Sejak diketahui dapat terjadi korosi yang berat pada struktur beton, dan sering kali perbaikan tidak mungkin dikerjakan, maka penelitian-penelitian untuk mencari penyebab berlangsungnya korosi dan pencegahannya segera dimulai dan masih berlangsung sampai kini.

Berbagai senyawa yang agresif pada beton mempunyai sifat dan pengaruh yang berbeda-beda pada korosi yang ditimbulkannya. Air campuran beton, type semen dan jenis agregat, juga mempengaruhi sifat-sifat dan ketahanan beton terhadap korosi. Maka biasanya sangat sukar memperkirakan terjadinya korosi pada beton dengan cara meramalkan hasil interaksi antara beton dengan substansi yang agresif.

Karena keanekaragaman faktor-faktor yang mempengaruhi intensitasnya, maka korosi pada beton merupakan proses yang rumit. Penelitian intensif tentang korosi pada beton telah berlangsung satu abad lebih, dan sejumlah aspek praktis maupun teoritis telah dapat dijelaskan. Meskipun demikian, teori-teori baru tetap bermunculan atau teori-teori lama disempurnakan.

Dengan makin meningkatnya penggunaan beton sebagai bahan bangunan, makin meningkat pula usaha untuk mengurangi dan mencegah terjadinya kerusakan akibat korosi pada beton. Penentuan substansi yang agresif di dalam air dan tanah, serta pemilihan sistem pencegahan korosi yang paling ekonomis dan efisien, adalah masalah yang harus ditanggulangi bersama oleh para pakar di bidang teknik dan kimia.

Makalah ini disusun dari sejumlah pustaka tentang korosi yang dapat di himpun, dan dibatasi pada yang prinsip saja tentang korosi pada beton polos (plain concrete). Berhubung luasnya aspek yang dicakup oleh korosi pada beton, sedapat mungkin persamaan reaksi yang rumit-rumit dihindari, dan akan dilengkapi dengan penjelasan lisan menggunakan gambar-gambar dari pustaka.

Akhirnya, di masa mendatang diharapkan dapat terjalin komunikasi serta tukar-menukar informasi tentang korosi, agar semua pihak yang menaruh perhatian pada masalah ini mendapatkan manfaatnya.

## II. KOROSI PADA BETON POLOS (PLAIN CONCRETE)

### II.1. Umum

Banyak bangunan beton yang berumur puluhan tahun masih dalam kondisi baik, karena mempunyai ketahanan tinggi terhadap pengaruh lingkungan. Mix design yang tepat, pengecoran dan curing yang baik, diiringi kontrol mutu yang ketat di lapangan dan di laboratorium akan menghasilkan beton dengan ketahanan tinggi terhadap pengaruh lingkungan, yang tidak membutuhkan perbaikan atau pemeliharaan berat dalam waktu yang lama.

Beton yang terkorosi dapat dipandang sebagai suatu kondisi yang tidak umum. Korosi pada beton besar kemungkinannya untuk terjadi pada beton bangunan maritim, beton pabrik kimia dan beton pondasi yang terletak pada lapisan tanah dengan air tanah sangat agresif. Pada beton yang lembab atau basah oleh medium yang agresif, lambat laun akan terbentuk honeycomb atau retakan-retakan dan akhirnya terjadi spalling. Apabila proses korosi ini dibiarkan berlangsung terus maka lama kelamaan beton akan hancur.

Proses korosi pada beton adalah proses kimia yang sangat rumit, yang terjadinya dipengaruhi oleh sifat-sifat beton serta sifat-sifat medium (asam, basa, garam). Sifat agresif pada medium ditimbulkan oleh ion  $Mg^{+2}$ ,  $SO_4^{-2}$ ,  $NH_4^+$ ,  $Cl^-$ ,  $HCO_3^-$ ,  $H^+$ ,  $OH^-$  secara tunggal atau kombinasi. Faktor-faktor luar yang ikut berpengaruh antara lain suhu dan kelembaban.

### II.2. Klasifikasi Proses Korosi

Proses kerusakan beton akibat kondisi lingkungan dapat dibagi atas dua kelompok, yaitu erosi (misalnya terkikisnya permukaan beton akibat pemakaian), dan korosi (akibat proses kimiawi). Korosi terjadi akibat faktor pengaruh luar (medium yang agresif) dan faktor pengaruh dalam (komposisi kimia beton), sedang kecepatan proses korosi itu sendiri dipengaruhi oleh semua faktor yang dapat meningkatkan porositas beton. Korosi secara umum dapat dibagi dalam 3 kelompok :

1. *leaching corrosion*, oleh cairan yang mengangkut sebagian senyawa pasta semen ke permukaan beton.
2. *base exchange corrosion*, akibat reaksi antara pasta semen dan medium yang membentuk senyawa-senyawa baru yang lunak atau mudah larut.
3. *swelling corrosion*, akibat terbentuknya senyawa baru yang stabil di dalam pasta semen, disertai dengan pengembangan volume yang besar.

Proses korosi menurut A. Steopoe :

1. leaching dari sebagian senyawa pasta semen khususnya  $\text{Ca(OH)}_2$  dan dapat menghasilkan gel-gel,
2. akibat terbentuknya gel-gel kekuatan bahan pengikat berkurang,
3. pengembangan volume meningkatkan tegangan dan beton terdisintegrasi.

V. V. Kind mengklasifikasikan korosi berdasarkan penyebabnya. Pada beton yang berhubungan dengan air tanah yang agresif :

1. leaching corrosion, kapur dalam pasta semen larut dan diangkut ke permukaan beton.
2. acid corrosion, konsentrasi tinggi ion  $\text{H}^+$  atau pH rendah akibat adanya asam menyebabkan senyawa Ca terurai.
3. carbonic-acid corrosion, disebabkan oleh  $\text{CO}_2$  agresif.
4. sulphate corrosion :
  - sulphoaluminate corrosion, pada beton yang berhubungan dengan air dengan konsentrasi ion  $\text{SO}_4^{-2} \leq 1000 \text{ mg/l}$ .
  - sulphoaluminate-gypsum corrosion, konsentrasi ion  $\text{SO}_4^{-2} > 1000 \text{ mg/l}$ .
  - gypsum corrosion, jika kadar sulfat dalam air tinggi.
5. magnesium corrosion :
  - pure magnesium corrosion, akibat Mg jika air tak mengandung ion  $\text{SO}_4^{-2}$ .
  - magnesium-gypsum atau sulphate-magnesium corrosion, jika air mengandung ion  $\text{Mg}^{+2}$  dan  $\text{SO}_4^{-2}$  secara simultan.

Selain kelima tipe korosi di atas, V. V. Kind mengamati adanya acidic gypsum corrosion yang terjadi akibat aksi bersama oleh ion  $\text{H}^+$  dan  $\text{SO}_4^{-2}$ , yang jarang dijumpai di alam sebagai proses lanjutan dari korosi oleh hidrogen sulfida.

V. M. Moskvina mendapatkan tipe korosi yang berbeda-beda pada lapisan-lapisan penampang beton yang berhubungan dengan air laut, dari lapisan paling dalam sampai ke permukaan berturut-turut leaching corrosion, sulphate corrosion, sulphate corrosion terutama dengan pembentukan gipsium dan magnesium corrosion. Batas antara lapisan-lapisan tidak terlalu jelas, sedangkan permukaan beton merupakan lapisan tipis yang terkarbonisasi.

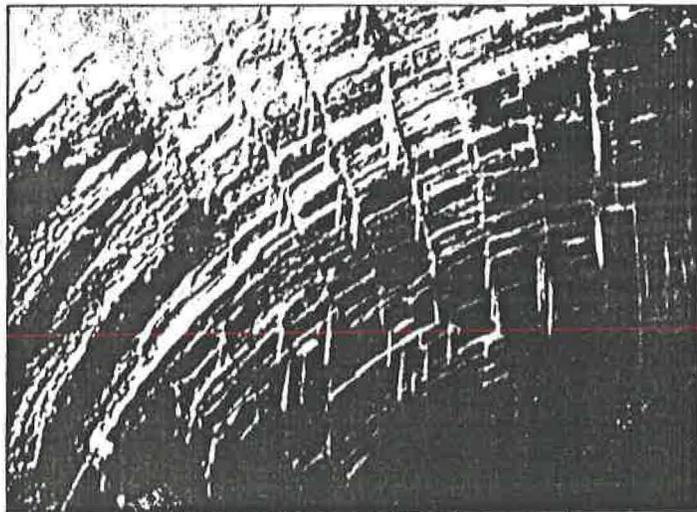
### III. LEACHING CORROSION

#### III.1. Air Lunak (Soft Water)

Korosi beton dapat terjadi bukan saja oleh air yang mengandung bahan kimia agresif, tetapi juga dapat terjadi akibat air lunak atau bahkan air murni yang tidak mengandung bahan larut di dalamnya. Air lunak alami misalnya air hujan, air dari salju atau es yang mencair, air danau atau air sungai yang sangat jernih yang berasal dari daerah aliran sungai dari batuan yang tidak mudah larut dalam air (basalt, granit, andesit).

Air lunak menyebabkan korosi karena leaching dari  $\text{Ca(OH)}_2$  bebas akan mereduksi kadar  $\text{CaO}$ , dan mengakibatkan terurainya senyawa-senyawa pasta semen yaitu hidrosilikat, hidroaluminat dan hidroferrit, sehingga kekuatan pasta semen berkurang dan beton mengalami kerusakan. Senyawa-senyawa pasta semen tersebut di atas dalam kondisi stabil hanya apabila terdapat  $\text{Ca(OH)}_2$  dalam kadar tertentu. Penurunan kadar  $\text{CaO}$  akibat leaching lebih dari 20 % akan menyebabkan kerusakan yang hebat pada beton.

Tingkat leaching corrosion akibat air lunak ditentukan oleh derajat kekerasan air, gerakan air, kecepatan rembesan air bertekanan ke dalam beton, suhu air, tipe semen, kepadatan beton, kualitas dan kondisi permukaan beton serta dimensi dan ukuran struktur beton.



Gambar 1. Kristal kapur pada dinding terowongan akibat leaching corrosion oleh air yang meresap akibat tekanan (Weiss 1952) [1]

Rembesan air lunak bertekanan bersifat sangat agresif, karena muncul di permukaan beton sambil mengangkut  $\text{Ca(OH)}_2$  yang sebagian berubah jadi  $\text{CaCO}_3$  karena bereaksi dengan  $\text{CO}_2$  melalui proses yang disebut carbonation.



Permukaan beton menjadi keputih-putihan karena terjadinya efflorescence akibat endapan kapur dalam bentuk  $\text{Ca(OH)}_2$  dan  $\text{CaCO}_3$ , sehingga beton disebut mengalami *white death of concrete*. Daya larut  $\text{CaCO}_3$  pada suhu  $18^\circ\text{C}$  kurang lebih seperseratus  $\text{Ca(OH)}_2$ .

Perubahan suhu air lunak dari  $25^\circ\text{C}$  -  $70^\circ\text{C}$  bisa diabaikan pengaruhnya pada kecepatan leaching corrosion.

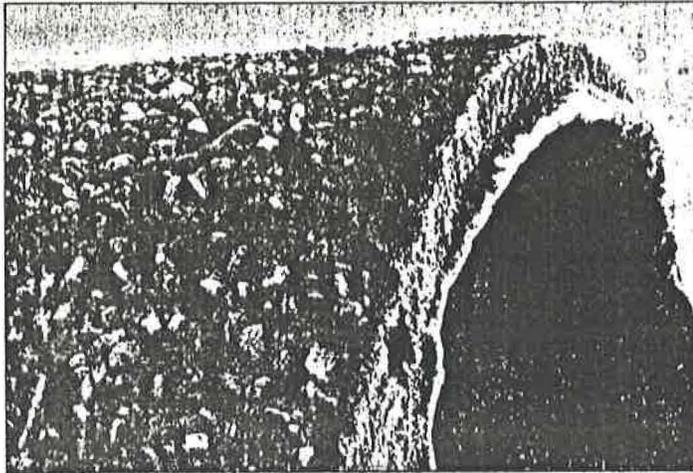
### III.2. Asam (Acids)

Sifat asam ditimbulkan oleh ion  $\text{H}^+$ , sedangkan sifat basa ditimbulkan oleh ion  $\text{OH}^-$ . Air akan bersifat netral (tidak asam atau basa) apabila kadar ion  $\text{H}^+$  dan  $\text{OH}^-$  sama banyak. Peningkatan kadar ion  $\text{H}^+$  akan diimbangi oleh penurunan kadar ion  $\text{OH}^-$ , karena jumlah konsentrasi kedua macam ion tersebut di dalam air selalu konstan. Derajat keasaman dinyatakan dengan nilai pH (0 - 14), dimana  $\text{pH} < 7$  menunjukkan sifat asam,  $\text{pH} = 7$  menunjukkan sifat netral, dan  $\text{pH} > 7$  menunjukkan sifat basa.

Air tanah umumnya mempunyai pH 6 - 9, dan dalam kondisi khusus bisa mencapai pH 4 atau 11. Pasta semen mempunyai pH 10 - 11 pada saat diaduk, meningkat menjadi 12 - 13 pada saat pengikatan akibat pembentukan  $\text{Ca(OH)}_2$  pada proses hidrasi. Pada beton pH selalu di atas 7.

Selain asam karbon, di alam terdapat berbagai macam asam-asam lain. Sifat asam dari air tanah disebabkan oleh  $\text{CO}_2$ , asam organik, atau garam-garam asam. Air rawa menjadi asam akibat oksidasi  $\text{H}_2\text{S}$  atau pyrite ( $\text{FeS}_2$ ) membentuk asam belerang. Faktor-faktor yang mempengaruhi keasaman air tanah antara lain musim dan cuaca, jenis tumbuh-tumbuhan, jarak dari permukaan tanah, kedalaman muka air tanah, jenis tanah dan tebal lapisan humus.

Asam menimbulkan kerusakan lebih hebat dari pada air lunak, karena dapat melarutkan lapisan  $\text{CaCO}_3$  di permukaan beton, menghalangi carbonation, dan bereaksi dengan  $\text{Ca(OH)}_2$  di dalam beton membentuk garam kapur yang mudah larut dalam air.  $\text{H}_2\text{SO}_4$  lebih korosif dari pada  $\text{HCl}$  atau  $\text{HNO}_3$  karena kombinasi pengaruh agresif dari ion  $\text{H}^+$  dan ion  $\text{SO}_4^{-2}$  serta dapat menimbulkan swelling (pengembangan volume).



Gambar 2. Korosi pada pipa pembuangan air kotor akibat air yang mengandung asam [1]

Produk akhir dari serangan asam pada beton adalah silica gel, garam kapur dan garam aluminium dari asam yang bersangkutan. Asam-asam yang lemah cenderung membentuk aluminium hidroksida dari pada membentuk garam aluminium. Asam yang membentuk garam kapur yang tidak mengembang volumenya dan tidak larut dalam air hanya sedikit merusak beton, seperti  $H_2SiF_6$  yang membentuk  $CaSiF_6$ ,  $H_3PO_4$  yang membentuk  $Ca_3(PO_4)_2$ , dan  $H_2C_2O_4$  yang membentuk  $CaC_2O_4$ .

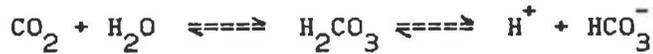
Air tanah dengan pH tinggi atau pH rendah sama-sama bersifat merusak beton, dengan kemampuan perusakan yang lebih tinggi pada pH rendah.

### III.3. Asam Karbonat (Carbonic Acid)

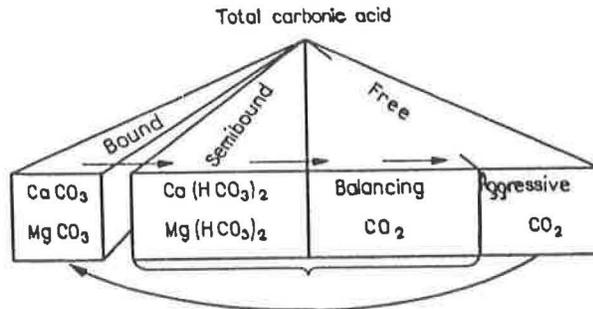
Umumnya pH rendah dari air disebabkan oleh asam karbonat. Karena sifat korosifnya berbeda dengan asam-asam lain, maka tipe korosi yang di timbulkan dibedakan dari korosi akibat asam-asam lainnya.

$CO_2$  agresif terdapat dalam air mineral dan air tanah yang dekat ke permukaan tanah. Kadar yang tinggi terdapat dalam air tanah yang meresap melalui lapisan organis yang terurai oleh mikro organisme. Di dalam tanah dimana air tanah berkadar  $CO_2$  agresif tinggi, lebih-lebih bila air tanah tersebut mengalir, kapur yang terkandung didalam tanah dengan cepat akan habis, sehingga serangan asam akan terpusat pada pasta semen dan beton mengalami proses perusakan dengan cepat.

Dari kadar total  $CO_2$  yang terkandung dalam air,  $\pm 1\%$  saja yang berbentuk asam karbonat ( $H_2CO_3$ ), sedangkan sisanya tetap berbentuk gas.

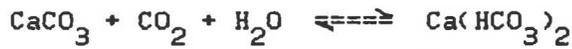


Di dalam tanah dan air tanah, asam karbonat total bisa dijumpai dalam tiga bentuk yang berbeda yaitu terikat, semi terikat dan bebas (gas  $\text{CO}_2$ ).



Gambar 3. Bentuk-bentuk asam karbonat [1]

Asam karbonat terdapat dalam bentuk terikat dalam calcite dan dolomite. Calcite diubah oleh gas  $\text{CO}_2$  (bentuk bebas) menjadi kalsium hidrokarbonat (bentuk semi terikat) yang larut di dalam air.



Bentuk semi terikat ini memerlukan adanya  $\text{CO}_2$  sejumlah tertentu agar tetap stabil, yang disebut 'balancing  $\text{CO}_2$ '. Kadar  $\text{CO}_2$  bebas selebihnya disebut  $\text{CO}_2$  agresif, karena akan melarutkan kapur yang terdapat di dalam beton lebih banyak lagi. Apabila  $\text{CO}_2$  bebas dalam air lebih sedikit dari yang diperlukan untuk menjaga kestabilan  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ , maka dengan cepat sebagian  $\text{CaCO}_3$  akan mengendap sampai tercapai kestabilan lagi. Karena itu, air tanah selalu bebas  $\text{CaCO}_3$  atau  $\text{MgCO}_3$  selama terkandung  $\text{CO}_2$  agresif di dalamnya.

Jika tanah atau air tanah mengandung karbonat,  $\text{CO}_2$  agresif bereaksi membentuk hidrokarbonat sehingga kadarnya berkurang sampai tercapai keseimbangan. Dengan demikian, korosi oleh asam karbonat hanya mungkin berlangsung bila tanah tidak atau sedikit sekali mengandung karbonat khususnya kalsium dan magnesium karbonat, atau garam-garam lain yang bersifat menetralkan  $\text{CO}_2$  agresif.

Sz. Papp (1949), menyimpulkan korosi oleh asam karbonat hanya akan berlangsung bila pH air  $< 7$  dan mengandung  $\text{CO}_2$  agresif. Sedang kecepatan korosi sangat dipengaruhi oleh porositas beton.

Korosi oleh air yang mengandung asam karbonat menyebabkan kekuatan bahan pengikat beton berkurang, sehingga butiran-butiran agregat di dekat

permukaan beton terlepas. Sedangkan kapur dengan mudah akan larut didalam air yang mengandung asam karbonat.

Jika permukaan beton berhubungan dengan uap air yang mengandung gas  $\text{CO}_2$ , proses carbonation di permukaan berlangsung dengan cepat dan menghambat berlangsungnya proses yang sama pada lapisan beton yang lebih dalam.

#### IV. BASE EXCHANGE CORROSION

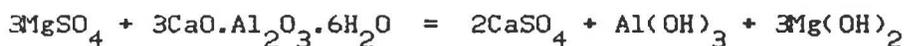
##### IV.1. Ion Magnesium ( $\text{Mg}^{+2}$ )

Dalam air tanah, magnesium terutama terdapat dalam bentuk magnesium sulfat, magnesium chlorida dan magnesium hidrokarbonat yang berasal dari magnesium karbonat. Semua garam-garam magnesium kecuali hidrokarbonatnya bersifat merusak beton, karena dapat bereaksi bukan hanya dengan  $\text{Ca(OH)}_2$ , tetapi juga dengan semua garam-garam kalsium yang menyusun pasta semen. Seluruh ion  $\text{Ca}^{+2}$  dari bahan pengikat beton secara berangsur-angsur dapat ditukar dengan  $\text{Mg}^{+2}$ , membentuk senyawa baru yang lunak dan mudah larut.

Magnesium sulfat sangat berbahaya pada beton, karena larutan 1 %  $\text{MgSO}_4$  dapat menyebabkan beton kehilangan 38 % kekuatannya. Reaksi dengan  $\text{Ca(OH)}_2$  adalah sebagai berikut :



Sedangkan terurainya tricalcium aluminat hidrat menurut V.V. Kind mungkin berlangsung sebagai berikut :



Reaksi yang sesungguhnya jauh lebih rumit dan belum sepenuhnya diketahui.

Magnesium chlorida yang merupakan senyawa penting di dalam air laut, jarang terkandung dalam air tanah tetapi sering terkandung dalam limbah industri, dan bersifat sangat korosif pada baja tulangan. Reaksi dengan kapur di dalam beton mungkin berlangsung sebagai berikut :



Untuk ion  $\text{Mg}^{+2}$  dengan konsentrasi yang sama, korosi akibat larutan  $\text{MgCl}_2$  berlangsung lebih lambat dari pada akibat larutan  $\text{MgSO}_4$ , karena pada larutan  $\text{MgSO}_4$  korosi ditimbulkan secara simultan oleh ion  $\text{Mg}^{+2}$  dan  $\text{SO}_4^{-2}$ .

Magnesium karbonat sendiri tidak agresif pada beton karena bersifat sulit larut. Meskipun demikian, jika air mengandung  $\text{CO}_2$  agresif magnesium karbonat akan berubah menjadi magnesium hidrokarbonat  $\text{Mg(HCO}_3)$  yang mudah larut.

#### IV.2. Ion Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ )

Ammonium adalah gas tak berwarna berbau tajam yang mudah larut di dalam air. Banyak terdapat dalam air limbah perumahan atau limbah industri, pupuk, dll. Garam-garam ammonium dapat merubah senyawa tidak larut menjadi senyawa mudah larut, misalnya :



Dibandingkan dengan garam-garam magnesium maka garam-garam ammonium lebih hebat dalam merusak beton.

#### IV.3. Nitrat dan Nitrit

Nitrat (  $\text{NO}_3^-$  ) dan nitrit (  $\text{NO}_2^-$  ) menyebabkan kapur berubah menjadi senyawa yang mudah larut. Reaksinya mungkin sebagai berikut :



Air yang menguap dari larutan nitrat menimbulkan efflorescence di permukaan beton.

#### IV.4. Ion Chlor ( $\text{Cl}^-$ )

Ion  $\text{Cl}^-$  umumnya hanya terdapat sedikit di dalam tanah atau air tanah, tetapi mungkin banyak terdapat di dalam air yang mengandung pupuk, faecalia atau limbah industri.

Chlorida yang bereaksi dengan kapur seperti  $\text{MgCl}_2$  dan  $\text{AlCl}_3$  akan membentuk senyawa yang tidak stabil dan mudah larut dalam air. Alkali chlorida (  $\text{NaCl}$  dan  $\text{KCl}$  ) tidak bereaksi dengan kapur atau dengan komponen pasta semen lainnya, tetapi jika konsentrasinya tinggi dapat menyebabkan leaching pada kapur atau  $\text{SiO}_2$  dalam bentuk  $\text{CaCl}_2$  atau  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  yang larut.

Secara umum chlorida akan meningkatkan ketahanan semen portland terhadap serangan sulfat. Meskipun demikian, perlu diperhitungkan pengaruh logam yang bersenyawa dengan chlorida tersebut. Menurut V. V. Kind (1956) peningkatan ketahanan semen portland terhadap sulfat disebabkan oleh satu dari tiga faktor di bawah ini :

1. peningkatan daya larut dari kalsium sulphoaluminat (oleh  $\text{NaCl}$ ),
2. penurunan konsentrasi  $\text{Ca(OH)}_2$  (oleh  $\text{MgCl}_2$  dengan sedikit  $\text{CaCl}_2$ ),

3. terhambatnya pembentukan kalsium sulphoaluminat, karena transformasi hidroaluminat menjadi chlorine aluminate (oleh  $\text{CaCl}_2 + \text{sedikit MgCl}_2$ ). Besarnya peningkatan ketahanan terhadap serangan sulfat ditentukan oleh kadar ion  $\text{Cl}^-$  dalam larutan dan jenis garam chloridanya.

## V. SWELLING CORROSION

### V.1. Ion Sulfat ( $\text{SO}_4^{-2}$ )

Umumnya penyebab utama kerusakan pada korosi beton adalah sulfat, sehingga serangan sulfat pada beton mendapat perhatian utama pada studi tentang korosi pada beton. Karena itu, serangan kimia dan serangan sulfat seringkali dianggap sebagai sinonim pada kebanyakan pustaka.

Ion sulfat penyebab korosi terdapat di dalam tanah atau air tanah, di dalam bentuk asam belerang atau garam-garam belerang. Timbunan besar batu bara atau slag dapat meningkatkan kadar sulfat di dalam tanah. Asap dari cerobong pabrik juga dapat menimbulkan polusi sulfat di daerah sekitarnya.

Garam sulfat yang paling berbahaya terhadap semen portland adalah sodium, magnesium, kalsium dan ammonium sulfat. Yang kurang agresif adalah potasium, tembaga dan aluminium sulfat. Sedangkan barium sulfat dan timah sulfat yang tidak larut dalam air tidak berpengaruh buruk pada beton.



Gambar 4. Korosi oleh ion sulfat [1]  
(Hummel, 1940)

Medium agresif yang mengandung sulfat meresap ke dalam beton dan menyerang pasta semen. Korosi akibat serangan sulfat berbeda dari korosi akibat air lunak, karena beton tidak hancur akibat leaching melainkan akibat pembentukan kristal-kristal yang disertai dengan pengembangan volume (swelling) yang besar, sehingga beton retak-retak dan akhirnya hancur.

V. V. Kind meneliti pengaruh larutan sodium sulfat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) dan sampai pada kesimpulan semen portland tahan sulfat yang dibuat dari klinker berkadar aluminat rendah lebih tahan terhadap korosi sulfoaluminat dibandingkan dengan semen portland biasa, tetapi tidak tahan terhadap korosi gipsum. Kriteria semen portland tahan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  dibuat oleh L. K. Tuthill sebagai berikut :

$$\begin{aligned} C_3A &< 6 \% \\ C_3A + C_4AF &< 12 \% \\ C_3S &< 50 \% \\ \text{kehalusan} &\geq 2000 \text{ cm}^2/\text{gram} \end{aligned}$$

Tidak seperti sodium sulfat yang kurang agresif terhadap silikat, maka magnesium sulfat bersifat agresif terhadap semua komponen klinker, karena aksi kombinasi dari asam sulfat dan magnesium. Tergantung pada kadar  $\text{MgSO}_4$  di dalam larutan, V. V. Kind membedakan tiga proses korosi :

1.  $< 4000 \text{ mg/l}$  : sulphate corrosion, dalam bentuk retak-retak lebar dengan pola karakteristik sulphoaluminate.
2.  $4000 - 7500 \text{ mg/l}$  : sulphoaluminate-gypsum corrosion, dan dekat batas atas magnesium-gypsum corrosion mulai nyata.  
Kekuatan beton berkurang secara lambat, tanpa timbul retak-retak. Pada kadar  $6000 - 7500 \text{ mg/l}$  proses berlangsung lebih lambat, agaknya untuk memberi kesempatan pada magnesium corrosion berlangsung
3.  $> 7500 \text{ mg/l}$  : magnesium corrosion, tanda-tanda terjadi swelling terlihat nyata.

Batas-batas dari ketiga proses ini, yakni transisi dari sulphoaluminate ke magnesium corrosion, tidak dapat ditentukan dengan pasti karena tergantung pada beberapa faktor dan komposisi mineral dari semen portland.

## V.2. Ion Hidroksil ( $\text{OH}^-$ )

Pabrik soda, pabrik serat sintetis, dan lain-lain struktur yang berhubungan dengan larutan alkalin, sering menunjukkan terjadinya korosi oleh basa. Air tanah yang bersifat basa merupakan karakteristik dari batuan dan

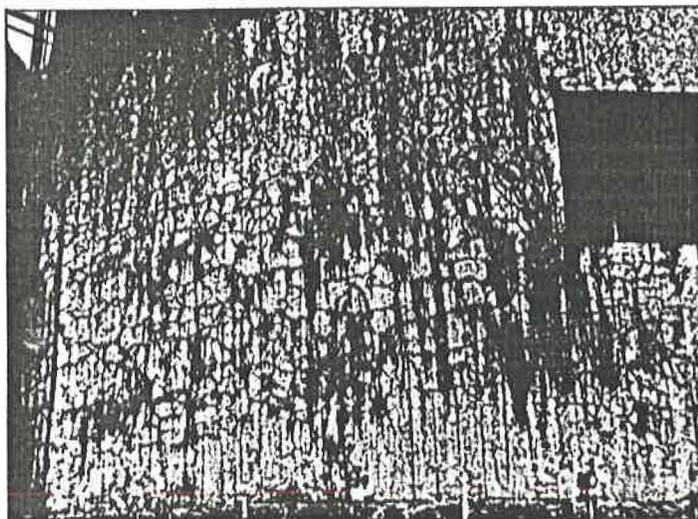
tanah endapan, dengan pH jarang  $> 8$ . Fenomena korosi akibat basa dapat diklasifikasikan dalam 2 kelompok :

1. reaksi pertukaran langsung dengan senyawa-senyawa pasta semen (korosi tipe 2).
2. pembentukan kristal di dalam pori-pori (swelling corrosion), dan paling merusak apabila beton mengalami basah dan kering berganti-ganti.

Apabila terjadi penetrasi larutan basa berkadar tinggi ke dalam pori-pori beton, basa akan bereaksi dengan  $\text{CO}_2$  dari udara, dan beton mengalami kerusakan akibat akumulasi dari karbonat yang terbentuk. Proses yang terjadi pada korosi beton oleh basa belum sepenuhnya dapat diuraikan.

### V.3. Reaksi Alkali

T. E. Stanton (1940), R. F. Blanks dan H. L. Kennedy (1955), melaporkan adanya kehancuran akibat pengembangan beton, yang tidak dapat dijelaskan dengan teori-teori yang telah ada saat itu. Ciri khasnya adalah retak-retak yang menyeluruh, sehingga permukaan beton merupakan suatu jaringan pola retak yang berat dan seringkali disertai dengan menetesnya gel dari retakan-retakan atau spalling.

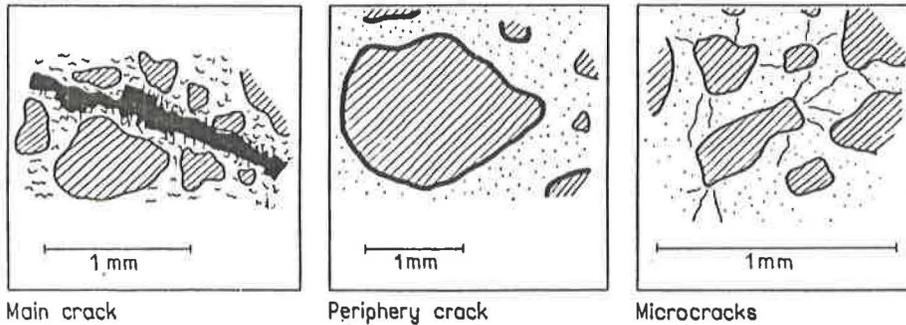


Gambar 5. Jaringan pola retak akibat alkali swelling pada pier beton berumur 16 tahun di Jütland (Idorn, 1961) [1]

Karena itu T. E. Stanton menyusun suatu hipotesa yang disebut 'reaksi alkali-agregat'. Reaksi ini terjadi antara alkali yang terkandung di dalam pasta semen dengan silika reaktif di dalam agregat. Hasil reaksi berupa

gel alkali silikat yang dapat menyerap air, sehingga volumenya mengembang dan beton retak-retak akibat tekanan yang ditimbulkannya.

Idorn (1961) meneliti retak akibat alkali swelling, dan mendapatkan bahwa retak dapat dibagi atas retak utama, retak keliling dan retak mikro.



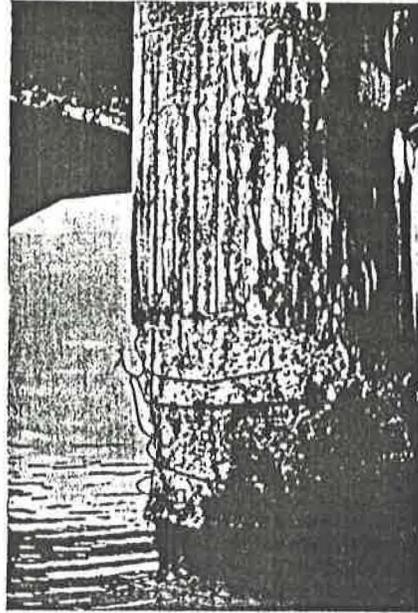
Gambar 6. Tipe retak pada alkali swelling (Idorn, 1961) [1]

Faktor-faktor yang mempengaruhi reaksi alkali-agregat adalah kadar alkali didalam semen, kadar semen di dalam beton, air pencampur beton, ukuran dan jumlah butir agregat rentan alkali di dalam beton, kondisi kelembaban, kekuatan dan porositas beton. Karena itu kadar alkali oksida di dalam semen harus dibatasi. Di USA kadar alkali yang diijinkan adalah 0.6 % dinyatakan dalam  $\text{Na}_2\text{O}$ .

Alkali swelling juga dapat disebabkan oleh air pencampur beton, misalnya jika pada pembetonan digunakan air laut atau air tanah yang mengandung alkalin.

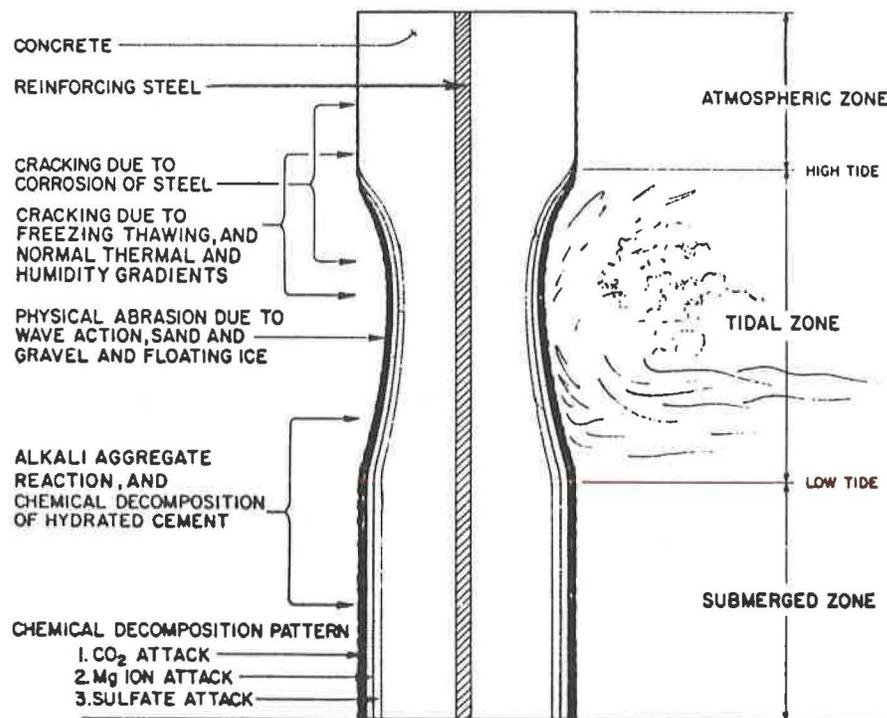
## VI. KOROSI AKIBAT AIR LAUT

Umumnya air laut mengandung garam-garam larut  $\pm 3.5\%$  dari beratnya. Konsentrasi ion  $\text{Na}^+$  dan  $\text{Cl}^-$  sekitar 11000 dan 20000 mg/l, sedang ion  $\text{Mg}^{+2}$  dan  $\text{SO}_4^{-2}$  kurang lebih 1400 dan 2700 mg/l. Air laut mempunyai pH 7.5 - 8.4. Beton yang berhubungan dengan air laut dapat mengalami proses perusakan akibat reaksi antara senyawa kimia air laut dengan pasta semen, reaksi alkali-agregat (jika agregat mengandung silika reaktif), pengembangan volume pada pembentukan kristal, korosi baja tulangan, pengaruh pembekuan (di daerah beriklim dingin), erosi akibat gelombang dan benda-benda terapung, akibat 'marine borers', dan lain-lain.



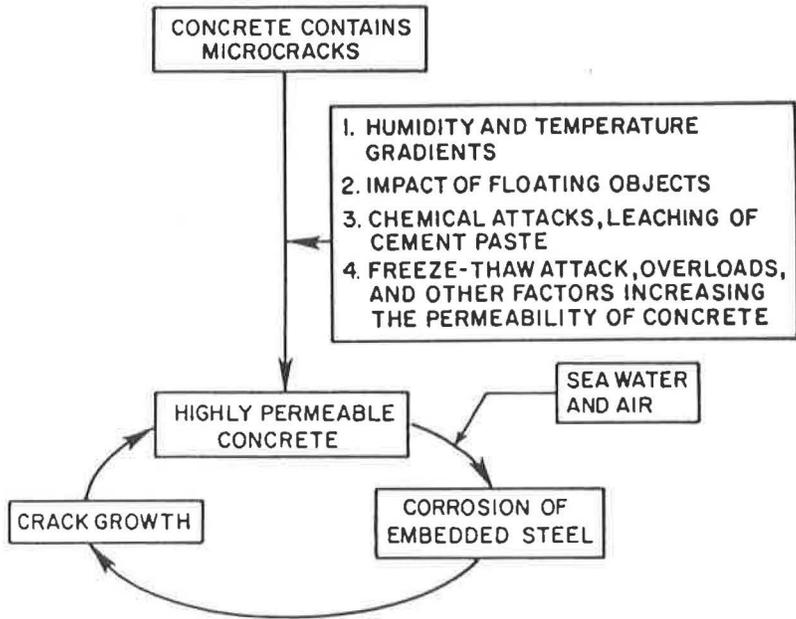
Gambar 7. Korosi daerah pasang-surut sebuah pier di Jutland Utara (Idorn, 1961) [1]

P. K. Mehta (1980) membagi tipe dan tingkat kerusakan beton akibat air laut menurut kondisi kontaknya dengan air laut (atmospheric zone, tidal zone dan submerged zone).



Gambar 8. Skema kerusakan beton akibat air laut [2]

P. K. Mehta sependapat dengan V. M. Moskvin, bahwa tipe kerusakan beton akibat air laut dari permukaan sampai ke lapisan dalam beton mengikuti suatu pola umum.



Gambar 9. Proses retak-korosi-retak pada beton bertulang [2]

Berdasarkan berbagai studi kasus, P. K. Mehta dan B. C. Gerwick Jr. (1982) menyusun teori tentang pengaruh korosi pada baja tulangan pada kehancuran beton. Pada beton bertulang dengan permeabilitas tinggi di daerah pertemuan dengan baja tulangan, korosi pada baja tulangan dapat menyebabkan perkembangan retak-retak mikro semula. Akibatnya beton menjadi lebih permeabel, diikuti peningkatan korosi pada tulangan yang memperbesar retak, dan seterusnya (proses berulang dengan cepat), sampai beton hancur. Proses ini tidak berlangsung selama beton di daerah pertemuan dengan baja tulangan permeabilitasnya tetap rendah.

VII. PENUTUP

Membuat beton tahan korosi adalah jauh lebih mudah dan ekonomis dari pada memperbaiki beton yang telah terkorosi. Dalam menentukan cara untuk melindungi beton terhadap korosi, harus digunakan prosedur yang paling sederhana dan ekonomis. Metoda yang lebih canggih dan mahal baru digunakan, apabila percobaan menunjukkan bahwa prosedur yang lebih sederhana dan ekonomis terbukti tidak menghasilkan ketahanan terhadap korosi seper-

ti yang diharapkan. Penelitian yang terus menerus dari para pakar korosi menunjukkan dengan jelas bahwa perlindungan beton terhadap korosi harus secara simultan memperhitungkan kombinasi pengaruh dari medium agresif dan kondisi lingkungan.

Pengalaman selama ini membuktikan bahwa 'high permeability is the key to probability', karena tidak ada metoda yang ekonomis dan sungguh-sungguh memuaskan yang dapat digunakan untuk melindungi beton yang rendah mutunya terhadap korosi.

Perlindungan terhadap korosi pada prinsipnya adalah mencegah reaksi antara beton dengan medium yang agresif dan dapat dibagi atas 2 kelompok.

A. Perlindungan pasif :

1. memilih bahan-bahan penyusun beton dan merencanakan campuran beton yang tepat (misalnya menggunakan semen portland rendah alkali bila agregat mengandung silika reaktif).
2. pelaksanaan pengadukan, pengecoran, pemadatan dan curing yang baik.
3. melapisi permukaan beton yang dilindungi dengan bahan tahan korosi.

B. Perlindungan aktif :

1. menurunkan muka air tanah yang agresif atau membelokkan arah aliran resapannya menjauhi struktur yang dilindungi.
2. menetralsir senyawa agresif dengan metoda kimiawi atau biologi.

Untuk mengontrol korosi, pada pembuatan beton kini banyak digunakan air-entrained concrete dan polymer concrete.

DAFTAR PUSTAKA

1. Biczok I.D., "CONCRETE CORROSION CONCRETE PROTECTION", 8th ed., Akademiai Kiado, Budapest, 1972.
2. Mehta P.K., "CONCRETE Structure, Properties, and Materials", Prentice Hall, Ney Jersey, 1986.
3. Mindess S., and Young J.F., "CONCRETE", Prentice Hall, New Jersey 1981
4. Gerwick B.C.Jr., "MARINE STRUCTURES", Handbook of Concrete Engineering edited by Mark Fintel, 2nd ed., Van Nostrand Reinhold Co., New York, 1985.
5. Perkins P.H., "Concrete Structures, Repair, Waterproofing and Protection", Applied Science Publishers Ltd., London, 1976.

=====