

**KAJIAN KERUSAKKAN PADA KONSTRUKSI BANGUNAN
BASEMENT *COOLING WATER PUMP* (CWP) PLTU PEMBANGKITAN
SUMATERA UTARA BAGIAN UTARA SEKTOR PEMBANGKITAN BELAWAN**

Hermansyah, ST, MT

Dosen Jurusan Teknik Sipil, Universitas Asahan

ABSTRAK

Korosi umumnya terjadi pada material yang terbuat dari logam. Proses korosi terjadi secara alami namun pengaruhnya dapat menyebabkan kekuatan dari material logam menjadi berkurang. Usaha yang dilakukan untuk mencegah korosi adalah menghambat laju korosi. PLTU Pada struktur bangunan sering dijumpai kerusakan yang berakibatkan korosi didaerah pinggir laut terutama salah satunya pada bangunan PLTU yang fungsinya sebagai *Cooling Water Pump*. Pada saat ini bangunan *basement* di PLTU mengalami kerusakan yang diakibatkan oleh faktor air laut dan kelembaban udara dimana strukturnya mengalami korosi. Penelitian yang dilakukan ini dengan melakukan beberapa proses terjadinya korosi yang sudah ada pada bangunan *basement* PLTU. Untuk itu dilakukan pengecekan struktur dengan menggunakan *Hammer Test* dan alat pemotong *core sampling* untuk mengetahui mutu beton pada bangunan *basement* tersebut kemudian dibawa ke laboratorium untuk di uji kuat tekan, pengujian karbonasi terhadap beton dan pengujian penetrasi ion klorida. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui berapa besar kerusakan bangunan *basement* di PLTU. Hasil penelitian menunjukkan bahwasannya ketebalan pada selimut beton 30 mm akan memiliki kecepatan korosi 0,39 mm dengan ratio air semen 0,4 - 0,52 mm dengan ratio air semen 0,4 mm sedangkan ketebalan selimut beton 60 mm dengan kecepatan korosi mencapai 0,196 mm dengan ratio air semen 0,4 - 0,264 mm. Pada bangunan *basement* CWP PLTU di pengaruhi adanya faktor karbonisasi yang mengakibatkan kerusakan pada tulangan dengan kedalaman sekitar 10 mm. Pada bangunan CWP PLTU pengaruh korosi terhadap bangunan mulai tidak aman pada tahun 25 dan 30 tahun.

Kata Kunci: Korosi, Karbon

I. PENDAHULUAN

Korosi merupakan proses atau reaksi elektrokimia yang bersifat dan berlangsung secara alamiah. Proses ini dapat mempengaruhi struktur bangunan khususnya bangunan yang berada di daerah pesisir. Dalam mekanismenya, korosi tidak dapat dicegah atau dihentikan namun dapat dikendalikan

dengan cara memperlambat lajunya. Kerusakan pada beton bertulang akibat korosi disebabkan oleh karbonasi dan kontaminasi khlorida.

Bangunan basemen pada bangunan PLTU Pulau Sicanang, Belawan adalah satu konstruksi beton bertulang yang mengalami kerusakan akibat korosi. Letak bangunan berada di

pesisir dan berada di zona intrusi air asin menyebabkan basement bangunan PLTU rusak.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui seberapa besar pengaruh unsur ion klorida dan karbonasi pada air laut terhadap kekuatan beton bertulang. Berdasarkan latar belakang diatas, yang menjadi rumusan masalah dalam penelitian ini adalah: Pengaruh kerusakan konstruksi beton bertulang yang berinteraksi dengan pengaruh air laut, Pengaruh ion klorida terhadap penurunan kekuatan beton bertulang dan pengaruh Karbonasi terhadap penurunan kekuatan beton bertulang.

II. PENDEKATAN TEORI

Korosi berasal dari bahasa latin "*Corrodere*" yang artinya perusakan logam atau berkarat akibat lingkungannya. Korosi adalah penurunan mutu logam akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungannya. Penurunan mutu logam tidak hanya melibatkan reaksi kimia namun juga reaksi elektrokimia, yaitu antara bahan bersangkutan terjadi perpindahan elektron. Karena elektron adalah sesuatu yang bermuatan negatif, maka pengangkutannya menimbulkan arus listrik. Banyak hal korosi menyebabkan penurunan daya guna suatu komponen atau peralatan terbuat dari logam seperti peralatan pabrik, jembatan, peralatan kimia dan sebagainya.

Peristiwa korosi tidak akan terjadi dengan sendirinya melainkan ada faktor-faktor tertentu yang

menyebabkan timbulnya peristiwa korosi. Faktor tersebut dapat menimbulkan terjadinya peristiwa korosi. Faktor tersebut dapat menimbulkan terjadinya peristiwa korosi apabila komponen-komponen tersebut terjadi hubungan satu sama lain yang menimbulkan terjadinya aliran elektron. Faktor yang mendasari korosi tersebut dapat dilihat dalam suatu rangkaian sel korosi basah.

Karbonasi akan menetralkan kondisi basah pada beton sehingga lapisan pasif baja tulangan menjadi tidak stabil. Sedangkan mekanisme kerusakannya diakibatkan serangan ion klorida makan tulangnya berkarat. Masuknya air laut ke dalam beton bertulang berfungsi sebagai media bagi ion-ion yang menyebabkan korosi pada tulangan seperti ion klorida dan ion sulfat untuk melakukan penetrasi ke dalam beton.

2.1. Mekanisme Terjadinya Korosi

Mekanisme terjadinya korosi ditinjau dari aspek material adalah adanya ragam jenis material yang menyatu dalam ukuran mikro atau makro. Keadaan struktur mikro, tidak lepas dari historis metalurgi mengenai cara pembentukan dan perubahannya. Karena itulah proses-proses pembentukan dan pengerjaan logam merupakan faktor yang menentukan.

2.2. Faktor – Faktor Terjadinya Korosi

Faktor yang terjadinya korosi adalah : Adanya ketidak homogenan baik dalam

jenis maupun mikro termasuk ketidak homogenan dalam beban fisik dan kimia (tegangan, suhu, konsentrasi oksigen dan sebagainya). Adanya larutan, air dan embun yang mengandung garam sebagai elektrolit. Faktor – faktor yang mempengaruhi kecepatan korosi adalah : Homogenitas fisik dan kimia, Nilai elektro potensial didalam larutan, Kemampuan membentuk lapisan pelindung, Hidrogen, Selain air dan oksigen sebagai elektrolit juga gas pembentuk asam (CO₂, SO₂, NaCl) pada musim penghujan atau pada kelembaban tinggi.

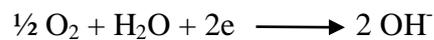
2.3. Korosi Beton Di Lingkungan Laut

Setiap konstruksi yang telah dibangun harus dievaluasi secara terus menerus untuk menentukan kinerja bangunan. Ambruknya suatu infrastruktur seperti jembatan, jalan layang, dermaga dan lain-lain karena secara tiba-tiba sering terjadi korban akibat runtuhnya konstruksi bangunan baik itu dari segi *finansial* maupun keselamatan manusia. Salah satu penyebab kerusakan bangunan dilingkungan laut adalah korosi pada beton dan tulangan. Secara umum, tulangan baja didalam beton tidak akan terkorosi, karena beton pada umumnya memiliki pH tinggi (sekitar 12.5), sifat pH tinggi atau basa/alkali pada beton terbentuk sebuah lapisan pasif yang menyebabkan baja terlindung dari pengaruh luar. Baja baru terkorosi bila lapisan pasif ini rusak (pH beton turun) yang biasanya disebabkan oleh faktor-

faktor sebagai berikut: Karbonasi, Klorida, Garam Magnesium dan Serangan Sulfat.

2.4. Korosi Pada Baja Tulangan

Baja tulangan merupakan suatu bahan yang mudah mengalami korosi. Korosi baja tulangan pada beton adalah sebuah proses elektrokimia. Sel korosi terbentuk karena perbedaan konsentrasi ion dan gas di sekitas logam. Secara normal, baja tulangan akan mempunyai lapisan film tipis FeO. OH pada permukaannya yang akan membuat baja pasif terhadap korosi. Pada proses terjadinya korosi akan dihasilkan suatu senyawa baru yaitu karat (Fe₂O₃.nH₂O). Setengah reaksi yang terjadi ialah:



Perubahan baja menjadi karat akan menyebabkan pertambahan volumenya tergantung pada kondisi oksidasi besinya. Penambahan volume (kurang lebih 600%) akan menyebabkan ekspansi beton dan keretakan. Laju korosi atau perusakan lapisan pelindung yang diberikan kepada logam akan dipengaruhi oleh perubahan dari faktor kelembaban relatif, temperatur, pH, konsentrasi oksigen, bahan pengotor padat/terlarut dan konsentrasi larutan. Pada proses korosi, baja tulangan dimasukkan dalam larutan asam sulfat, reaksi kimia yang terjadi pada proses korosi. Asam sulfat (H₂SO₄) bereaksi dengan besi (Fe) pada baja tulangan.

Baja tulangan yang terkorosi seperti Gambar 1.1 , volume karatnya lebih besar □3 kali dari volume bahan

asalnya sehingga mengakibatkan keretakan pada beton. Hal ini merupakan awal dari kerusakan beton yang akhirnya menuju ke kerusakan yang lebih parah sehingga secara keseluruhan memperpendek usia pakai konstruksi yang bersangkutan. Baja tulangan di dalam beton terkorosi apabila keadaan pasif hilang yaitu pH lingkungan pada bidang kontak baja-beton turun sampai $< 9,5$.



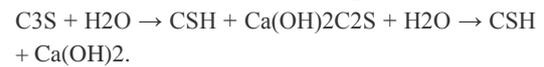
Gambar 1.1. Proses Korosi Pada Baja Tulangan

Sumber : www.proseskorosi.com

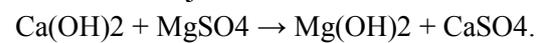
2.5. Korosi Pada Beton

Korosi pada beton terjadi dipermukaan bagian bawah lantai dermaga seperti Gambar 1.2. Korosi pada beton terjadi akibat terbentuknya *ettringite* akibat reaksi kimia antara unsur kalsium di dalam beton dengan garam sulfat dari luar. Sama seperti karat pada besi, *ettringite* yang terjadi menyebabkan pengembangan volume beton sehingga

menyebabkan massa beton terdesak dan pecah. Secara lengkapnya, proses terjadinya *ettringite* ini dapat dijelaskan sebagai berikut. Proses hidrasi antara semen (C3S dan C2S) dengan air menjadi pasta semen ($3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ disingkat CSH).



Ca(OH)_2 yang terjadi kemudian bereaksi dengan garam sulfat dari tanah atau laut menjadi



CaSO_4 yang terjadi bereaksi kembali dengan C3A dari semen dan air menjadi *ettringite*.



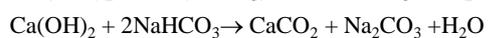
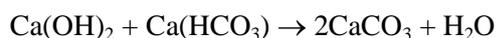
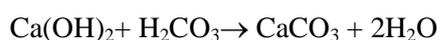
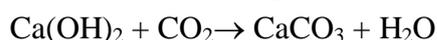
Gambar 1. 2. Proses Korosi Pada Beton

2.6 Karbonisasi

Karbonasi adalah pelapukan batuan oleh karbon dioksida (CO_2). Gas ini terkandung pada air hujan ketika masih menjadi uap air. Jenis batuan yang mudah mengalami karbonasi adalah

batuan kapur. Reaksi antara CO₂ dengan batuan kapur menyebabkan batuan rusak. Pelapukan ini berlangsung dengan batuan air dan suhu tinggi. Air yang banyak mengandung CO₂ (zat asam arang) dapat dengan mudah melarutkan batu kapur (CaCO₂). Peristiwa ini merupakan pelarutan dan dapat menimbulkan gejala karst. Karbonasi merupakan salah satu proses pelapukan kimiawi. Selain karbonasi, proses lainnya yaitu hidrasi, hidrolisa, dan oksidasi. Karbonasi beton dikaitkan dengan korosi tulangan baja dan dengan penyusutan. Namun, juga meningkatkan baik kekuatantekan dan kuat tarik beton, sehingga tidak semua dampaknya pada beton buruk. Karbonasi yaitu : peristiwa terbentuknya CaCO₃ sebagai akibat reaksi antara Ca(OH)₂ dengan gas atau senyawa terlarut yang bersifat asam.

Proses karbonasi berlangsung menurut reaksi sebagai berikut :



Proses karbonasi ini berlangsung dari permukaan beton ke bagian dalam beton yang akhirnya mencapai bidang kontak baja beton. Apabila proses karbonasi telah mencapai bidang kontak baja-beton, pH lingkungan pada bidang kontak baja-beton turun sampai < 9,5. Kedalaman yang terkena dampak dari permukaan beton dapat dengan mudah ditampilkan dengan menggunakan larutan indikator fenolftalein.

Fenolftalein adalah bahan putih atau pucat kristal kuning. Untuk digunakan sebagai indikator itu dilarutkan dalam pelarut yang cocok seperti isopropil alkohol (*isopropanol*) dalam larutan 1%. Larutan indikator fenolftalein diterapkan pada permukaan fraktur segar beton. Jika indikator berubah ungu, pH di atas 8,6. Dimana solusi tetap tidak berwarna, pH beton di bawah 8,6, menunjukkan karbonasi. Sebuah pasta penuh berkarbonasi memiliki pH sekitar 8,4. Dalam prakteknya, pH 8,6 hanya dapat memberikan warna sedikit merah muda samar-samar terlihat. A, kuat segera, perubahan warna menjadi ungu menunjukkan pH yang agak tinggi, mungkin pH 9 atau 10. Beton dengan larutan pori pH 10-12 kurang alkali dari beton suara tapi masih akan menghasilkan perubahan warna yang kuat dengan indikator fenolftalein. Karena itu berarti bahwa tes adalah indikator cenderung meremehkan kedalaman yang karbonasi telah terjadi. Dalam konfirmasi ini mikroskop,- baik mikroskop optik menggunakan tipis-bagian, atau scanning menggunakan mikroskop elektron bagian dipoles-efek karbonasi menunjukan pada kedalaman lebih besar dari yang ditunjukkan oleh indikator fenolftalein.

Cara Untuk Mengukur Kedalaman Karbonasi

Kedalaman karbonasi terbentuk dalam perambatan/pergerakan karbon dioksida di dalam sampel beton. Nilai alkalinitas beton dinyatakan dengan nilai pH yang sama 12-13 mm, dengan perambatan /

pergerakan karbon dioksida menyebabkan reaksi yang mengurangi alkalinitas tersebut. Ini akan mempengaruhi permukaan baja dan kemudian merusak lapisan perlindungan pasif disekitar batang baja, proses korosi pun akan terjadi. Oleh karena itu, sangat penting untuk menentukan kedalaman beton yang mengubah ke karbonasi dan seberapa jauh dari atau dekat dengan jeruji baja itu. Tes ini dilakukan dengan menyemprotkan permukaan beton yang rusak atau memecahkan / mematahkan (beton) menggunakan alat khusus untuk memperoleh kedalaman karbonasi dengan phenolphthalein dilarutkan dalam alkohol. Test karbonisasi ini dilakukan dengan cara menyemprot bahan phenolphthalein kedalam beton. Warna larutan menjadi merah muda ketika menyentuh permukaan beton dengan nilai alkalinitas pH sekitar 12 – 13,5 mm, dan warna berubah abu-bau atau biru jika beton kehilangan alkalinitas dan pH kurang dari 9. Hal ini diperlukan bahwa bagian yang akan diuji harus baru rusak baik itu pada balok, kolom, lantai atau tangga. Setelah mengukur kedalaman karbonasi dipenutup beton dan jarak dari kedalaman karbonasi ke batangan baja, baik itu mencapai batang baja atau tidak, ini mudah untuk mengevaluasi resiko terjadinya korosi.

Identifikasi Kerusakan

Dengan diadakannya tinjauan ke lokasi untuk mengetahui seberapa besar tingkat kerusakan yang terjadi di

Bangunan Basement CWP PLTU dikarenakan adanya faktor kelembaban udara dan tumpahan air di mesin pompa pengolahan yang mana mesin pompa tersebut mengisap air laut, akibatnya struktur yang ada di bangunan tersebut mengalami kerusakan antara lain pada balok, kolom maupun pada lantai. Kerusakan yang terjadi pada balok dikarenakan selimut beton mengelupas, sebagian cat rusak dan berwarna coklat akibat besi tulangan mengalami korosi. Kolom juga mengalami kerusakan dikarenakan selimut beton juga mengelupas akibatnya besi beton terlihat pada permukaan kolom. Tidak hanya pada balok dan kolom yang mengalami kerusakan seperti lantai juga tangga mengalami kerusakan.



Gambar 1. 3. Kerusakan Pada Balok dan Kolom

Penyebab terjadinya keretakan pada bangunan basement CWP adalah : Adanya pengaruh faktor kelembaban udara yang menyebabkan beton mengalami keretakan, adanya pengaruh air laut yang mana terjadi pasang surut maka bangunan basement terjadi kerusakan pada struktur tersebut, adanya pengaruh rembesan air dari pompa mesin yang menyebabkan beton mengelupas dan retak.

Dengan demikian adanya kerusakan atau keretakan pada bangunan basement yang disebabkan adanya faktor air laut dan kelembaban udara akibatnya beton mengalami retak dan baja akan mengembang kemudian menjadi keropos. Tulangan yang mengembang atau bertambahnya volume baja akan mengakibatkan keretakan yang lebih parah dan kerusakan beton.

HASIL DAN PEMBAHASAN

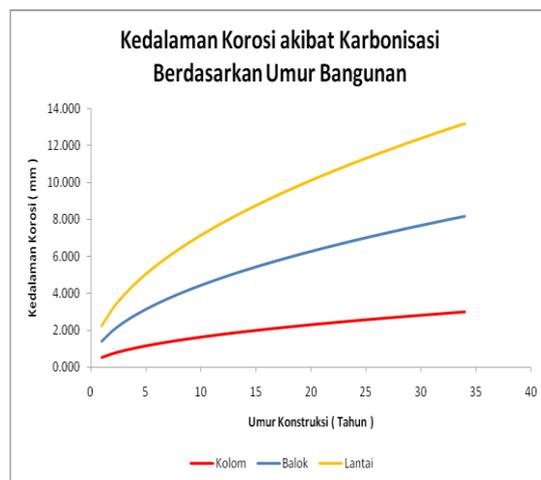
Pengujian Kedalaman Karbonisasi Karbonisasi pada beton adalah masuknya unsur CO₂ kedalam struktur beton, sehingga menyebabkan tulangan yang ada dalam konstruksi mengalami korosi. Jika ini terjadi maka dalam waktu yang relatif cepat ketahanan struktur akan mengalami penurunan. Test karbonisasi ini dilakukan dengan cara menyemprot bahan phenolphthalein kedalam beton. Warna larutan menjadi merah muda ketika menyentuh permukaan beton dengan nilai alkalinitas pH sekitar 12 – 13,5 mm, dan warna berubah abu-abu atau biru jika beton kehilangan alkalinitas dan pH kurang dari 9 mm. Hal ini diperlukan bahwa bagian yang akan diuji harus baru rusak baik itu pada balok, kolom, lantai atau tangga. Setelah mengukur kedalaman karbonasi dipenutup beton dan jarak dari kedalaman karbonasi ke batangan baja, baik itu mencapai batang baja atau tidak, ini mudah untuk mengevaluasi resiko terjadinya korosi. Pengujian karbonisasi dilakukan dengan menggunakan phenolphthalein dengan

alkohol dan air.

Pengukuran ion klorida adalah salah satu metode untuk test pemeliharaan struktur beton yaitu pada bangunan yang terletak di daerah sekitar lingkungan laut, dimana ion klorida bisa buat korosi pada struktur beton.

Tabel. Hasil Pengukuran Kedalaman Karbon

No	Uraian	Carbonation Depth (mm)
1	BALOK	5
2	KOLOM	5
3	LANTAI	10
4	TANGGA	4



Gambar 1. 4. Hasil Pengukuran Ion Klorida

Untuk melakukan test klorida pertama – tama, sampel diambil dari permukaan struktur beton dengan menggunakan alat kemudian inti sampel dipotong dengan pemotong beton. Pemotong tanpa menggunakan air setelah itu beton di hancurkan menjadi potongan-potongan sekitar 5 mm dengan menggunakan palu, kemudian sampel dihancurkan kembali menjadi bubuk, yang garis tengahnya kurang dari 150

µm dengan menggunakan mesin penggiling dan setelah itu harus dikeringkan selama satu hari dibawah kondisi ruang normal. Bubuk yang dikeringkan secara alami dicampur dan dikukur dalam suatu glass breaker, kemudian asam sendawa HNO₃ (2 mol/L) secara perlahan dituangkan ke dalam glass breaker.

Tabel Hasil Analisa Klorida

No	Sampel	Kadar Klorida (%)
1	1-1	0,0097
	1-2	0,0483
2	2-1	0,0113
	2-2	0,0189
3	3-1	0,0539
	3-2	0,0432
4	4-1	0,0444
	4-2	0,0424
5	5-1	0,0164
	5-2	0,0235

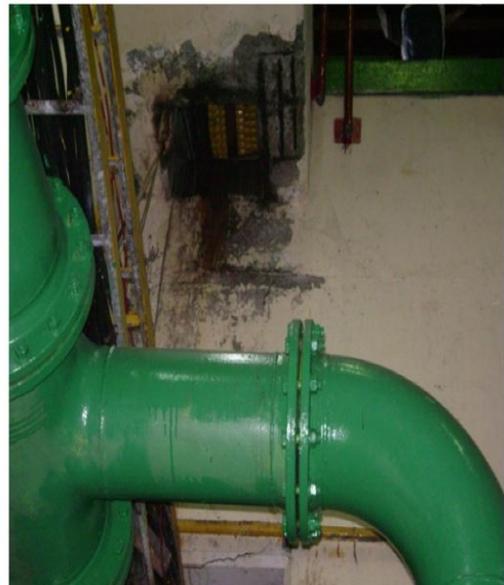
Foto Dokumentasi Kerusakan



Gambar. Kerusakan Balok Bangunan CWP



Gambar Kerusakan Kolom Bangunan CWP



Gambar Kerusakan Tangga Bangunan CWP

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan analisis data bangunan Basement Cooling Water Pump (CWP) PLTU Pembangkitan Sumatera Bagian Utara Sektor Pembangkitan Belawan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

Hasil pengujian sampel pada bangunan basement CWP PLTU diperoleh kondisi tulangan pada bangunan telah banyak mengalami korosi kedalaman karbonisasi mencapai 10 mm.

Pengaruh ion klorida pada sampel diperoleh kadar klorida mencapai 0,0539 % < 0,5 % dari berat beton. Hal ini diartikan bahwa ion klorida tidak mempengaruhi sifat – sifat fisik dari beton.

DAFTAR PUSTAKA

AASHTO T260-84. 1984. Standard method of sampling and testing for total chloride ion in concrete ratio materials. Washington, D.C.:

American Association of State Highway Transportation Officers.

Allred, J. C. 1993. Quantifying the losses in cover-meter accuracy due to congestion of reinforcement.

Proceedings of the Fifth International Conference on Structural Faults and Repair 2:125–130.

Anggraeni, I., Y.L.D.Adianto, dan Agus S.S., 2005. *Studi Analisis Masa Layan Bangunan Beton Bertulang Berdasarkan Kerusakan yang Diakibatkan Korosi Yang disebabkan Infiltrasi Gas CO₂*, Jurnal Teknik Sipil

Universitas Katholik Parahyangan, Bandung, V.7. No.1. Juni.

Broomfield, J. P., J. Rodriguez, L. M. Ortega, and A. M. Garcia. 1993. Corrosion rate measurement and life prediction for reinforced concrete structures. In *Proceedings of Structural Faults and Repair—93* 2:155–164.

Bungey, J. H. ed. 1993. Non-destructive testing in civil engineering. International Conference of the British Institute of Non-Destructive Testing, Liverpool University.

Cantrell A., (2002), “*Steel Rebar Reinforcement Corrosion in Concrete Bridge Design*”, *Corrosion and Surface Treatment of Materials*, Material Science Engineering Departement Undergraduate, University of Washington.