

Korosi dalam Infrastruktur Bangunan: Tantangan dan Peluang bagi Pembangunan Berkelanjutan

Muhammad Haristo Rahman

Jurusan Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan Univeristas Negeri Makassar

Email : m.haristo.rahman@unm.ac.id¹

ABSTRAK

Penelitian ini menggunakan metode tinjauan literatur sistematis untuk menginvestigasi dampak lingkungan basa terhadap kerusakan pada struktur beton bertulang. Kondisi lingkungan seperti lingkungan laut, lingkungan dalam tanah, dan lingkungan dengan tingkat karbon dioksida yang tinggi diidentifikasi sebagai faktor yang membuat struktur beton rentan terhadap korosi. Terdapat dua jenis korosi pada struktur beton bertulang, yaitu korosi pada baja tulangan dan korosi pada beton, yang secara perlahan menyebabkan melemahnya kekuatan beton. Penelitian ini menyoroti beberapa cara pencegahan korosi, termasuk pemilihan bahan yang baik, peningkatan selimut beton, penambahan dimensi struktur, pemampatan beton, dan penggunaan lapisan pelindung. Salah satu pendekatan pencegahan yang disoroti adalah menciptakan beton yang kompak, rapat, dan homogen dengan memperhatikan kekentalan beton dan cara pemampatannya. Metode penelitian yang digunakan adalah tinjauan literatur sistematis, yang mengikuti pedoman standar untuk mengidentifikasi dan mensintesis penelitian yang relevan. Tujuan penelitian adalah mendalami faktor penyebab keretakan korosi, menemukan metode pencegahan sebelum terjadinya keretakan, dan memahami pentingnya kesadaran serta perawatan pada beton bertulang sebagai langkah preventif dan responsif terhadap masalah korosi. Penelitian ini diharapkan memberikan pemahaman yang lebih baik tentang penanganan korosi pada struktur beton bertulang

Kata Kunci : Korosi, Beton Bertulang, Strategi Pencegahan.

ABTRACT

This research employs a systematic literature review method to investigate the impact of alkaline environmental conditions on the deterioration of reinforced concrete structures. Environmental settings such as marine environments, subterranean conditions, and environments with high levels of carbon dioxide are identified as factors making concrete structures susceptible to corrosion. Two types of corrosion in reinforced concrete structures are recognized: corrosion of reinforcing steel and corrosion of concrete, both gradually leading to the weakening of concrete strength. The study highlights several corrosion prevention methods, including the selection of quality materials, increased concrete cover, structural dimension augmentation, concrete compression, and the application of coatings. One highlighted preventive approach involves creating compact, tight, and homogeneous concrete by carefully considering the viscosity of the concrete and its compression methods. The research methodology used is a systematic literature review, adhering to standard guidelines to identify and synthesize relevant studies. The research aims to delve into the factors causing corrosion-induced cracking, discover preventive methods before cracking occurs, and understand the importance of awareness and maintenance of reinforced concrete as preventive and responsive measures to corrosion issues. This study is expected to provide a better understanding of handling corrosion in reinforced concrete structures.

Kata Kunci : Corrosion, Reinforced Concrete, Prevention Strategies

1. PENDAHULUAN

Pembangunan bidang konstruksi gedung, jalan raya, pelabuhan, lapangan terbang dan bangunan irigasi mempunyai sasaran meningkatkan kesejahteraan dan taraf hidup masyarakat. Dalam melaksanakan atau merencanakan suatu konstruksi, kekuatan dan keawetan merupakan tujuan yang penting untuk dicapai. Beton merupakan bahan bangunan yang dibentuk oleh pengerasan campuran semen, air, agregat halus, agregat kasar (batu pecah atau kerikil), udara dan kadang-kadang campuran bahan tambahan lain. Campuran yang masih plastis dicor ke dalam acuan dan dirawat untuk mempercepat reaksi hidrasi campuran campuran semen-air, yang menyebabkan pengerasan beton.

Pada struktur beton, sebaik-baiknya proses pengawasan dan pengerjaan beton di lapangan, seringkali dapat ditemukan adanya keretakan pada pada material beton tersebut. Indonesia merupakan negara kepulauan, beberapa wilayahnya berbatasan langsung dengan laut. Kondisi wilayah yang seperti ini merupakan kondisi lingkungan yang korosif dan rawan terhadap serangan korosi. Korosi yang terjadi pada baja tulangan akan mengakibatkan turunnya kekuatan tarik dari baja tulangan dan keretakan pada selimut beton. Iklim Indonesia yang tropis menyebabkan setiap harinya perubahan temperatur dan kelembaban cukup besar. Kondisi seperti ini menyebabkan berbagai jenis 'penyakit' (kerusakan) pada bahan bangunan sebagai tubuh bangunan. Kerusakan kerusakan yang mungkin terjadi adalah susut dan korosi baja tulangan. Susut diakibatkan oleh perubahan temperatur di sekitar bangunan beton, sedangkan korosi baja tulangan diakibatkan oleh perubahan kondisi dalam beton dari basa menjadi asam dan kondisi lingkungan di sekitar bangunan beton. Korosi pada baja tulangan selain menyebabkan diameter baja tulangan berkurang, juga menimbulkan volume senyawa hasil reaksi korosi yang lebih besar daripada volume baja yang bereaksi. Hal ini menyebabkan tekanan pada beton di sekeliling baja tulangan. Selimut beton yaitu bagian beton yang melindungi baja tulangan dapat mengalami keretakan atau terkelupas akibat tekanan dari pengembangan volume senyawa hasil reaksi korosi. Kerusakan ini menyebabkan kinerja bangunan beton menurun, dan jika kerusakan terus berlanjut maka bangunan beton tidak layak dipakai lagi ('mati'). Karena itu, korosi baja tulangan beton dapat dijadikan dasar untuk memprediksi waktu layan bangunan beton, terutama untuk bangunan di sekitar laut.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini memanfaatkan pendekatan tinjauan literatur sistematis. Tinjauan literatur sistematis, atau yang lebih dikenal sebagai Systematic Literature Review, merupakan suatu metode tinjauan literatur yang mengikuti serangkaian pedoman standar untuk mengidentifikasi dan menyintesis seluruh penelitian yang relevan, sambil memberikan evaluasi terhadap pemahaman yang ada mengenai topik penelitian tersebut (Petticrew & Roberts, 2006). Dengan kata lain, tinjauan literatur sistematis berbeda dari Tinjauan Literatur (LR) karena kata "sistematis" yang menjadi ciri khasnya (Petticrew & Roberts, 2006). Keberadaan unsur "sistematis" menunjukkan bahwa tinjauan literatur ini dijalankan sesuai dengan seperangkat norma tertentu, yang mencakup setiap detail tentang proses produksi tinjauan literatur sistematis.

Penelitian ini bertujuan untuk mendalami faktor-faktor penyebab terjadinya keretakan korosi pada struktur beton bertulang. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk menemukan metode pencegahan yang efektif sebelum terjadinya keretakan serta cara mengatasi keretakan yang sudah terjadi. Hasil akhir yang diharapkan adalah pemahaman yang lebih baik tentang pentingnya kesadaran dan perawatan pada beton bertulang sebagai langkah preventif dan responsif terhadap masalah korosi.

Langkah-langkah dalam studi literatur yang digunakan yaitu

- a. Pengumpulan Data Awal.
 - Kegiatan ini dilakukan dengan melakukan identifikasi Sumber Informasi: Mencari literatur terkait struktur beton, korosi, dan faktor-faktor yang menyebabkan keretakan.
 - Seleksi Sumber: Memilih literatur yang relevan dan berkualitas tinggi untuk mencapai tujuan penelitian.
- b. Review Literatur
 - Tinjauan Literatur Awal: Menganalisis literatur yang mengidentifikasi penyebab korosi pada beton dan dampaknya.

- Tinjauan Sistematis: Melakukan tinjauan literatur sistematis untuk menyintesis hasil penelitian yang relevan dan memberikan penilaian terhadap metode pencegahan dan penanganan.
- c. Analisis Faktor Penyebab Keretakan Korosi
 - Mengidentifikasi Faktor-faktor Penyebab: Menganalisis literatur untuk menentukan faktor-faktor penyebab keretakan korosi pada struktur beton bertulang.
 - Pengkategorian dan Klasifikasi: Mengelompokkan faktor-faktor penyebab sesuai dengan karakteristiknya.
- d. Penyusunan Solusi Pencegahan dan Penanganan
 - Identifikasi Metode Pencegahan: Mencari literatur yang membahas cara-cara pencegahan korosi pada beton sebelum terjadi keretakan.
 - Penelitian Solusi Penanganan: Mengidentifikasi metode penanganan yang efektif untuk mengatasi keretakan yang telah terjadi.
- e. Analisis Hasil Penelitian
 - Evaluasi Kesimpulan: Menyusun kesimpulan dari hasil analisis literatur sistematis.

3. HASIL DAN ANALISA

3.1 KOROSI

Korosi dikenal sebagai penyakit yang sangat merugikan. Istilah Korosi sebenarnya telah sangat lama dikenal, Menurut Supardi dalam Bethy 2007, Kata korosi berasal dari bahasa latin yaitu *corrodere* yang artinya perusakan logam atau berkarat. Terjadinya korosi dapat dipengaruhi oleh temperatur, garam-garam yang terlarut, dan adanya aktivitas mikroorganisme (bakteri). Korosi dapat terjadi karena proses fisis, khemis maupun biologis. Korosi biologis pada umumnya disebabkan karena adanya mikrobia. Mikrobia dalam proses korosi dianggap sebagai penyebab tersendiri, yang dalam kerjanya dapat sendiri atau merupakan gabungan dari sejumlah mikroba yang berbeda.

Hampir di semua tempat dan dalam berbagai kondisi dapat terjadi korosi karena mikrobia. Mikrobia yang paling berperan dalam proses korosi adalah bakteri pengubah sulfat. Produk korosinya adalah sulfida yang berwarna hitam. Bakteri penyebabnya adalah *Desulfovibrio desulfuricans* yang mempunyai enzim hidrogenase yang dapat melakukan depolarisasi pada daerah yang ada mikrobanya. Jenis lain yang dapat membentuk enzim hidrogenase adalah bakteri-bakteri pembentuk metan, asam cuka, pereduksi asam nitrat dan perhidrol. Selain bakteri-bakteri tersebut ada bakteri yang penting pada terjadinya korosi yaitu bakteri-bakteri pembentuk oksida-oksida logam seperti bakteri pengoksidasi belerang, besi dan mangan. Selain dua kelompok bakteri diatas masih ada mikrobia yang menghasilkan produk-produk metabolisme yang dapat menyebabkan terjadinya korosi, misal Fungi yang sebagian besar menghasilkan asam yang menyebabkan korosi pada tembaga dalam lingkungan ada air. Ada bakteri yang tidak menyebabkan korosi tetapi menghasilkan O₂ yang pada akhirnya juga dapat menjadi penyebab terjadinya korosi karena akan terbentuk sel konsentrasi oksigen. Konstruksi baja yang ditempatkan di laut sebagai tiang pancang terjadi korosi yang disebabkan adanya mikrobia yang dapat membentuk sel konsentrasi oksigen. Kombinasi adanya mikrobia yang mempunyai enzim hidrogenase dengan mikrobia penghasil oksigen akan lebih berbahaya, karena keduanya akan saling mempengaruhi (sinergis) dan lebih tahan terhadap desinfektas dan juga lebih tahan terhadap lingkungannya (Stoecker, 1996; Dalam Dwi Suhartanti 2006).

Beton yang selama ini dikenal sebagai material yang “tahan karat”, sebenarnya bisa juga mengalami korosi sebagaimana korosi atau karat yang terjadi pada struktur baja. Korosi yang dimaksud di sini adalah kerusakan material beton tersebut akibat proses kimia yang terjadi di dalamnya. Tentu saja bentuk korosi beton ini tidak sama dengan korosi yang terjadi pada besi baja. Beton adalah bahan bangunan yang bersifat basa. Sifat beton ini menyebabkan baja tulangan aman terhadap korosi. Akan tetapi, kondisi basa dalam beton itu dapat berubah akibat pengaruh lingkungan di sekitarnya. Gas CO₂ atau ion asam dapat masuk ke dalam beton melalui pori-pori kapiler yang terdapat dalam beton. Gas CO₂ yang masuk ke dalam beton akan bereaksi dengan Ca(OH)₂ dan menghasilkan H₂CO₃ yang menyebabkan pH dari beton turun, selain itu, ion Cl⁻ dari laut yang berinfiltrasi ke beton menyebabkan konsentrasi asam naik. Perubahan kondisi dalam beton menjadi asam menyebabkan lapisan

tipis di permukaan baja tulangan hilang, baja mudah mengalami korosi jika kadar gas O₂ dan air di dalam beton cukup.

Struktur beton yang rentan terhadap korosi adalah :

- Struktur yang terletak di lingkungan laut, seperti platform offshore, dermaga, jetty, dsb
- Struktur yang terletak di dalam tanah, seperti pondasi, basement, terowongan, dsb.
- Struktur yang terletak di lingkungan karbondioksida yang tinggi

Korosi pada struktur beton bertulang ada 2 jenis, yaitu :

- Korosi pada baja tulangan
- Korosi pada beton

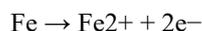
3.2 MEKANISME KOROSI

Baja adalah bahan yang mempunyai kuat tarik yang tinggi dan koefisien pemuaian yang hamper sama dengan beton. Sedangkan beton sebagai bahan bangunan mempunyai kelemahan utama yaitu kuat tariknya kecil. Karena itu, baja dapat digunakan sebagai tulangan pada bagian beton yang menerima gaya tarik. (A. S. Sudjono. 2005).

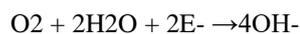
Pada permukaan baja terdapat lapisan pasif baja yang tipis. Lapisan pasif baja ini berguna untuk melindungi baja dari korosi. Lapisan pasif baja akan bereaksi dengan larutan asam atau akan larut dalam kondisi asam. Karena beton bersifat alkali, yaitu basa dengan pH sekitar 12-13, baja tulangan di dalam beton aman terhadap korosi (Saitoh, S. Dalam A.S Sudjono 2005).

Beton secara makro terlihat sebagai material yang kuat dan masif, tetapi jika dilihat secara mikro maka beton adalah material yang berpori dengan diameter yang kecil. Pori-pori di dalam beton pada umumnya menerus. Pori-pori ini dinamakan pori kapiler, dan ukurannya berdiameter 3nm–2µm (Hanehara, S., Dalam A.S Sudjono 2005). Ukuran diameter pori-pori kapiler tersebut masih memungkinkan senyawa-senyawa di sekitar beton untuk berinfiltrasi ke dalam beton dengan cara berdifusi. Proses ini dapat terjadi karena ada perbedaan konsentrasi di dalam beton dan di luar beton. Misalnya bangunan beton di sekitar pantai/ laut, karena konsentrasi ion Cl⁻ di luar beton lebih tinggi daripada di dalam beton maka akan terjadi difusi ion Cl⁻ ke dalam beton.

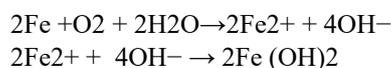
Ion dari senyawa-senyawa yang bersifat asam, seperti ion Cl⁻ pada daerah laut, yang berdifusi ke dalam beton sampai ke permukaan baja tulangan dapat mengakibatkan lapisan pasif baja hilang. Permukaan baja yang lapisan pasifnya hilang menjadi anode dari reaksi korosi baja tulangan. Dapat dituliskan dengan persamaan kimia yaitu :



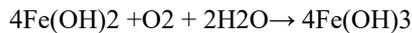
Elektron yang dilepaskan dari reaksi anode menyebabkan gas O₂ dan air yang terdapat di atas permukaan baja yang masih tertutup oleh lapisan pasif, bereaksi. Bagian baja ini menjadi katode dari reaksi korosi baja tulangan, dan reaksinya dapat dituliskan sebagai berikut:



Kedua ion yang terbentuk pada anode dan katode bergabung membentuk senyawa hasil korosi. Persamaan reaksi tersebut dapat dituliskan seperti di bawah ini:

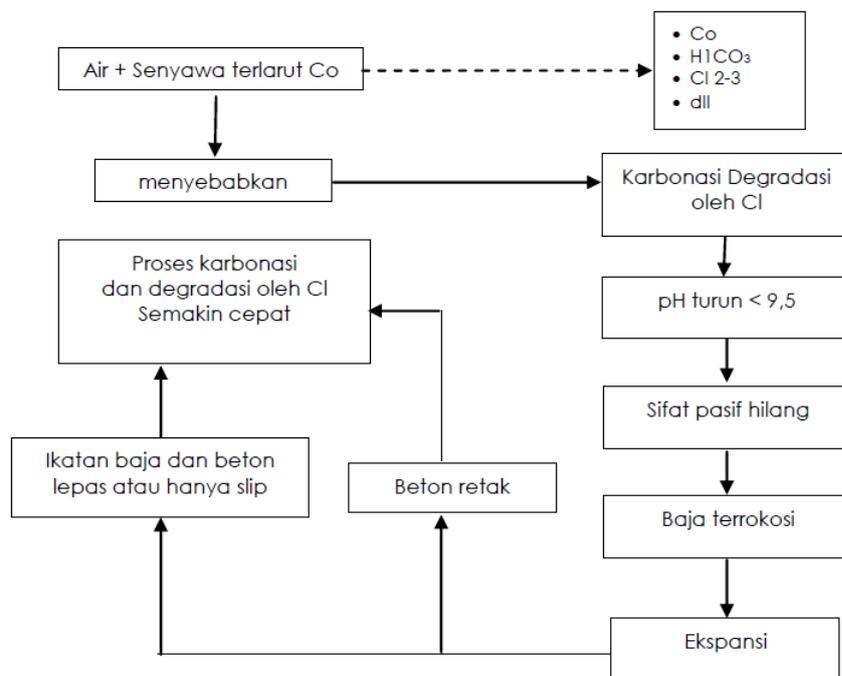


Fe(OH)₂ sebagai bentuk awal senyawa hasil korosi akan berada di permukaan baja yang mengalami korosi. Setelah itu tergantung konsentrasi O₂ dalam air yang terdapat pada pori-pori beton. Jika konsentrasi O₂ tinggi maka akan terbentuk Fe(OH)₃ dengan persamaan reaksi sebagai berikut:



Jika pada waktu pembentukan senyawa $\text{Fe}(\text{OH})_2$ jumlah air tidak cukup sedangkan konsentrasi O_2 cukup maka terbentuk korosi yang berwarna merah (FeOOH). Tetapi, jika konsentrasi O_2 juga tidak cukup maka terbentuk korosi berwarna hitam (Fe_2O_3) atau berwarna hijau ($2\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$).

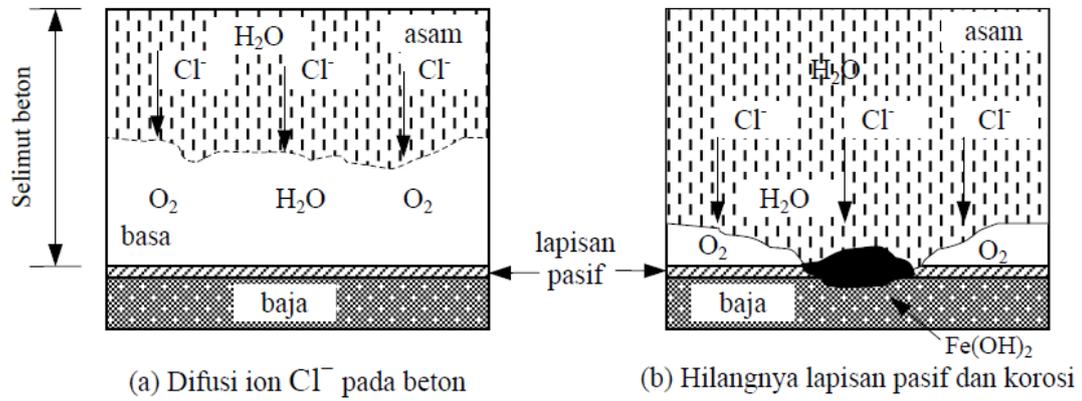
Karena korosi adalah senyawa yang berpori maka proses korosi akan terus berlanjut asalkan konsentrasi Cl^- , O_2 dan H_2O di dalam beton cukup. Perbandingan volume antara senyawa hasil reaksi korosi dengan senyawa yang bereaksi kira-kira 2,5kali. Karena itu, selimut beton dapat mengalami keretakan akibat tekanan dari pengembangan volume tersebut. Jika telah terjadi keretakan pada selimut beton maka gas O_2 , H_2O dan ion Cl^- lebih mudah berinfiltrasi ke dalam beton dan kerusakan akibat korosi pada bangunan beton akan menjadi lebih parah.



Gambar 3.1 Bagan Air Terjadinya Lingkaran Korosi (Fahirah F.)

3.3 KERUSAKAN AKIBAT KOROSI PADA BAJA TULANGAN

Reaksi korosi pada baja menghasilkan volume senyawa hasil reaksi lebih besar dari senyawa yang bereaksi. Jika diasumsikan berat jenis baja dan senyawa hasil korosi hampir sama, kecepatan reaksi korosi dapat dinyatakan dengan berat senyawa hasil korosi terhadap waktu. Pemikiran ini menjadi rasional karena pengukuran berat senyawa hasil korosi mudah dilakukan baik di laboratorium maupun di lapangan. Dengan bertambahnya waktu berat senyawa hasil korosi semakin besar sehingga membuat tekanan pada selimut beton pun semakin besar. Kemudian, untuk menentukan kondisi kerusakan bangunan beton akibat korosi dapat digunakan hubungan antara keretakan pada selimut beton dengan berat senyawa hasil korosi yang diperoleh dari pengukuran di laboratorium maupun lapangan (A. S. Sudjono. 2005).



Gambar 3.2 Proses Kerusakan Bangunan Beton (A. S. Sudjono. 2005).



Gambar 3.3 Kerusakan Beton (Sumber Internet)

3.4 PENCEGAHAN DAN PERAWATAN KOROSI PADA BETON BAJA TULANGAN

Pada prinsipnya secara global, pengendalian dan pencegahan korosi pada beton bertulang diskemakan yaitu dengan Mengusahakan Kondisi fasif pada kontak baja dan beton, selanjutnya yaitu dengan mencegah atau menghambat proses karbonasi degradasi klorida, cegah dan hambat definisi beton terhadap lingkungan dan melakukan coatings dan pelapisan. Beberapa cara pencegahan korosi pada beton bertulang adalah pemakaian bahan yang baik, mempertebal selimut beton, dan penambahan dimensi struktur serta pemampatan beton dan coatings. Salah satu pencegahan korosi adalah mengusahakan beton yang kompak dan rapat serta homogen. Ini berarti dituntut adanya kesesuaian antara kekentalan beton (kadar air semen) dan cara pemampatannya. Salah satu contoh mempertahankan kondisi pasif ialah cara inhibition atau cara proteksi katodik, yaitu membalikkan arah arus korosi, sehingga menghalangi proses korosi. Untuk Coatnya biasa digunakan prinsip-prinsip deret volta dimana proses korosi dicegah dengan cara mempertahankan logam yang dilindungi sebagai katoda dan logam lain yang terkorosi sebagai Anoda.

Adapun cara-cara yang dapat mencegah korosi :Pemakaian bahan-bahan yang bermutu baik. Mempertebal selimut beton Menggunakan beton kedap air (secara teoritis tidak ada, Penambahan dimensi struktur, Cara pemampatan beton yang tepat, Perlindungan permukaan (Coatings) Cara ini biasanya bersifat sementara, karena bila perlindungannya cacat atau rusak proses korosi akan berjalan lagi. Material granular

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan diketahui bahwa kondisi lingkungan yang basa dapat menyebabkan kerusakan pada tulangan beton yang sedikit demi sedikit mengakibatkan kerusakan kuat beton. Struktur beton yang rentan terhadap korosi adalah : struktur yang terletak di lingkungan laut, struktur yang terletak di dalam tanah, struktur yang terletak di lingkungan karbondioksida yang tinggi. Korosi pada struktur beton bertulang ada 2 jenis, yaitu : Korosi pada baja tulangan Korosi pada beton Beberapa cara pencegahan korosi pada beton bertulang adalah pemakaian bahan yang baik, mempertebal selimut beton, dan penambahan dimensi struktur serta pemampatan beton dan coatings. Salah satu pencegahan korosi adalah mengusahakan beton yang kompak dan rapat serta homogen. Ini berarti dituntut adanya kesesuaian antara kekentalan beton (kadar air semen) dan cara pemampatannya.

Referensi

- [1] Agus Santosa Sudjono. 2005. Prediksi Waktu Layan Bangunan Beton Terhadap Kerusakan Akibat Korosi Baja Tulangan. Jurnal Civil Engineering Dimension, Vol. 7, No. 1, 6 – 15, March 2005 ISSN 1410-9530
- [2] Bethy Carolina Matahelumual. 2007. Korosifitas air terhadap fondasi beton, kasus di daerah Tapin, Kalimantan. Jurnal Geologi Indonesia, Vol. 2 No. 2 Juni 2007: 69-72.
- [3] Dwi Suhartanti. 2006. Laju Korosibaja Oleh Desulfomicrobium Baculatum Dan Desulfomonas Pigra. Jurnal Berkala MIPA, 16(1), Januari 2006
- [4] Fahira F. Korosi pada Beton Bertulang dan Pencegahannya. SMARTek. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tadulako, Palu