

PENGARUH TEBAL SELIMUT BETON NORMAL PADA LAJU KOROSI BAJA TULANGAN

Oleh:

Pramudiyanto¹, A. Triwiyono², HRC Priyosulistyo³

¹⁾Dosen Jurusan Pendidikan Teknik Sipil & Perencanaan FT UNY

^{2) 3)}Dosen Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan FT UGM

ABSTRACT

Corrosion of steel reinforcement is the main cause of deterioration and preliminary failure of reinforced concrete construction. The effect is the large amount of funding to repair, restore and replace the broken part. The aim of this research is to figure out the corrosion process on the reinforcement of concrete construction with local aggregate in the salt water environment. The specific aim is to find out the corrosion rate of steel reinforcement having concrete compression strength between 25 MPa to 30 MPa.

The DC Electrochemical Test Method with impressed current technique was used in this research. The test is using cylinder with various diameter. The reinforcement steel is placed in the center of cylinder cross section to make a condition of different cover thickness. The test was conducted 45 days non-stop, observing specimen's potential change and crack pattern. The corrosion rate and corrosion current density (I_{corr}) were compute using weight loss of steel. The carbonation test using buffer phenolphthalein was also conducted in this research.

The result shows that there're a downstream trend of corrosion rate and corrosion current density to the concrete cover's thickness. The corrosion rate of $\varnothing 1.25''$, $\varnothing 3''$, $\varnothing 5''$ and $\varnothing 6''$ specimens as follow: 4.440981 mm/yr, 1.63395 mm/yr, 0.026253 mm/yr and 0.00 mm/yr. The corrosion current density (I_{corr}) of $\varnothing 1.25''$, $\varnothing 3''$, $\varnothing 5''$ and $\varnothing 6''$ specimens as follow: 0.000382446 mA/cm², 0.000141 mA/cm², 2.2×10^{-6} mA/cm² and 0.00 mA/cm². The potential change's profile will goes down according to the time of test. The graph of potential change to the time forming a curved line until a time when the line becomes straight. The crack pattern started from the region between the submerge and the dry region, then move to the entire part of specimen. The carbonation was dominated by corroded specimen.

Keyword: *corrosion of concrete reinforcement, concrete cover thickness, carbonation, impressed current technique*

PENDAHULUAN

Korosi baja tulangan merupakan penyebab utama kerusakan dan kegagalan awal konstruksi beton. Akibatnya, diperlukan biaya yang sangat besar untuk perbaikan, restorasi dan penggantian bagian yang rusak. Sebagai contoh, infrastruktur di negara-negara benua Eropa telah mencapai suatu masa pemakaian optimalnya, namun biaya pemeliharannya bertambah besar hingga mencapai 5 juta Euro per tahun. Pemeliharaan infrastruktur di negara-negara benua Eropa menjadi faktor utama pembiayaan dan belanja negara tersebut (Klinghoffer, et. al., 2000).

Sebuah estimasi yang dilakukan di Amerika Serikat menyatakan bahwa biaya perbaikan jembatan dan tempat parkir berkisar antara 325 juta sampai dengan 1000 juta Euro per tahun. Jembatan dan tempat parkir tersebut mengalami kerusakan yang disebabkan *deicing* garam. Di Inggris, total biaya yang diestimasi oleh Departemen Transportasi untuk perbaikan jembatan mencapai 1 juta Euro. Jembatan-jembatan yang rusak akibat korosi tersebut merepresentasikan 10% inventaris total di Inggris (Klinghoffer, et. al., 2000).

Permasalahan kerusakan dan kegagalan struktur tersebut dihadapi oleh setiap negara yang mengembangkan teknologi beton bertulang. Pengembangan teknologi beton akan selalu dihubungkan dengan ketersediaan agregat setempat. Meskipun masalah korosi pada struktur beton di berbagai negara sama, namun hal tersebut tidak dapat dipisahkan dari sifat-sifat agregat setempat, metode pencampuran, cara pengecoran dan perawatan.

Korosi baja tulangan struktur beton bertulang dipengaruhi oleh banyak faktor. Diantara banyak faktor tersebut, tebal selimut beton, kondisi lingkungan dan jenis agregat digunakan sebagai variabel dalam penelitian ini. Subjek penelitian ini yakni efek perubahan tebal selimut beton terhadap laju korosi baja tulangan pada lingkungan air laut. Tujuan penelitian ini yaitu memperoleh laju korosi baja tulangan yang ditanam pada beton bermutu antara 25 Mpa sampai dengan 30 Mpa. Manfaat yang ingin dicapai yakni secara praktis mendapatkan besaran tebal selimut beton sebagai perlindungan yang memadai agar dapat bertahan terhadap serangan korosi.

KAJIAN PUSTAKA

Beton merupakan salah satu bahan pilihan utama bagi masyarakat dalam hal fleksibilitas fabrikasinya. Setelah dicor, struktur beton akan berhadapan langsung dengan lingkungan yang "ramah" ataupun lingkungan yang "tidak ramah". Salah satu materi yang menyebabkan lingkungan menjadi "tidak ramah" yakni adanya garam-garam klorida (NaCl) yang terdapat di lingkungan. Garam-garam klorida di lingkungan tersebut menyerang konstruksi beton bertulang sehingga menyebabkan suatu masalah serius. Pada struktur beton, baja tulangan berperan mengakomodasi integritas struktur bersama-sama dengan beton. Oleh karena baja tulangan tidak dapat diperbaiki kembali setelah rusak, maka rusaknya baja akibat serangan garam klorida menjadi sebuah masalah yang merepotkan. Jenis struktur yang rentan diserang garam klorida antara lain: struktur lepas pantai (*offshore construction*), pelabuhan (*harbour*), jalan layang (*fly-over*), jembatan, struktur di muara sungai dan lain sebagainya.

Degradasi konstruksi beton dianggap sebagai penyebab awal kerusakan pada struktur beton. Salah satu penyebabnya yakni izin dari beberapa standar peraturan yang memperbolehkan terjadi retak pada struktur beton. Retak memang diperbolehkan asal tidak melampaui batas yang ditetapkan. Retak dalam batas izin masih mampu memberikan aspek durabilitas pada struktur beton. Hal yang perlu diperhatikan yakni retak memiliki kecenderungan untuk berkembang. Retak, yang awalnya masih pada batas izin, akhirnya melewati batas izin.

Pada konstruksi beton bertulang, korosi baja tulangan merupakan sebuah permasalahan serius. Baja merupakan komponen yang berperan untuk mengakomodasi kelemahan beton dalam hal tarik. Baja tulangan tidak akan dapat berperan baik apabila sudah terkorosi. Permasalahan tentang korosi merupakan masalah durabilitas beton. Untuk mendapatkan beton yang memiliki durabilitas

maksimal, hal-hal berikut ini perlu diperhatikan saat mendesain struktur beton bertulang: (1) beton dengan permeabilitas rendah, (2) isi semen yang tinggi, (3) konten klorida rendah, dan (4) selimut beton yang memadai untuk melindungi baja tulangan (Broomfield, 2007).

Hampir semua bahan di muka bumi ini merupakan bahan kimia. Termasuk di dalamnya beton yang merupakan campuran dari berbagai macam bahan kimia. Berdasarkan hal tersebut, mengantarkan berbagai macam penelitian terhadap material beton untuk mengetahui berbagai perilakunya. Elektrokimia merupakan salah satu ilmu yang bersumber pada cabang ilmu pengetahuan alam yaitu ilmu kimia. Pada cabang ilmu ini, terdapat dua ilmu dasar yaitu ilmu kimia dan elektronika. Sehingga pada penelitian elektrokimia, peralatan elektronik digunakan untuk membantu dan mendukung pengujian kimia. Oleh karena cabang ilmu ini merupakan cabang ilmu yang sangat kompleks, maka pemanfaatan elektrokimia dalam melaksanakan pengujian menjadi luas cakupannya. Beton merupakan suatu bahan yang dapat dianalisis dengan memanfaatkan uji elektrokimia. Beberapa riset telah menggunakan cabang ilmu ini untuk membantu memberikan sebuah gambaran tentang fenomena yang terjadi pada beton. Leelalerkiet (*et al.*, 2005) menggunakan teknik elektrokimia dan emisi akustik untuk mengestimasi korosi pada beton bertulang. Smulko (*et al.*, 2006) memberikan hasil penelitiannya tentang uji elektrokimia untuk mengevaluasi laju korosi. Hasil yang diperoleh adalah terdapat perubahan signifikan terhadap perubahan laju korosi dengan metode pengujian yang diusulkan. Pengujian lain oleh Acosta dan Sen membahas perilaku elektrokimia batuan *coupled carbon fibre-reinforced polymer* pada beton. Pengujian ini juga menggunakan metode elektrokimia.

LANDASAN TEORI

Menurut Mehta dan Monteiro (2006), beton menjadi menarik untuk digunakan sebagai bahan bangunan, paling tidak karena tiga buah alasan. Pertama, beton memiliki sifat tahan air. Bila dibandingkan dengan kayu dan baja pada umumnya, kemampuan bertahan terhadap aksi air tanpa terjadi kerusakan serius, menjadikan beton sebuah bahan ideal untuk struktur bangunan yang mampu bertahan di air. Beberapa aplikasi pendahulu tentang pemakaian bahan ini terdiri atas *aqueduct* dan dinding penahan batas laut yang dibuat oleh bangsa Romawi. Penggunaan beton yang sederhana untuk dam, jalur kanal dan perkerasan jalan saat ini merupakan pemandangan umum hampir di seluruh dunia. Alasan kedua yakni terdapat fakta bahwa elemen struktur dari beton dapat dibentuk menjadi berbagai bentuk penampang dan ukuran. Faktor penyebabnya yakni beton cair (baru saja dibuat) merupakan sebuah konsistensi plastis yang memungkinkan bahan-bahan beton untuk mengalir ke perancah. Setelah sekian waktu, beton padat dan mengeras menjadi sebuah masa yang kuat, sehingga perancah dapat dilepas untuk digunakan kembali. Alasan ketiga berhubungan masalah teknis. Umumnya beton dibuat dengan bahan-bahan murah dan dapat disediakan dengan mudah di lapangan. Komponen utama dalam membuat beton (agregat, air dan semen) relatif murah dan mudah diperoleh hampir di semua daerah di dunia. Tergantung biaya transportasi komponen-komponennya, di beberapa lokasi tertentu harga beton mencapai US\$75 sampai dengan US\$100 per meter kubik. Di tempat lain harga beton per meter kubik bisa jadi lebih rendah.

Menurut Richardson (2002), para desainer konstruksi beton sangat tertarik dengan karakteristik kekuatan bahan-bahan penyusunnya. Untuk sejumlah alasan, desainer-desainer tersebut sekarang harus menjadi memiliki jiwa sadar-durabilitas. Waktu layan yang panjang dianggap sebagai sifat tahan lama (*durable, durability*). Namun sifat tahan lama terhadap satu kondisi belum tentu berarti juga bersifat tahan lama terhadap kondisi yang lain. Berdasarkan *ACI Committee 201*, seperti yang dikutip oleh Mehta dan Monteiro (2006), dirabilitas (sifat tahan lama – *durability*) beton semen Portland didefinisikan sebagai kemampuan untuk bertahan terhadap aksi cuaca, serangan kimiawi, abrasi atau proses kerusakan lain. Istilah lainnya, sebuah beton yang durabel akan bertahan terhadap bentuk awal, kualitas dan kemampu-layanannya, saat berada di lingkungan yang ditujukan untuknya.

Tidaklah ada bahan yang memiliki sifat tahan lama. Sebagai sebuah hasil dari interaksi dengan lingkungan, mikrostruktur dan sifat-sifat bahan berubah sejalan dengan waktu. Sebuah bahan diasumsikan mencapai masa layan saat sifat-sifatnya telah rusak hingga pada suatu keadaan dinyatakan tidak aman atau tidak ekonomis. Air secara umum terdapat dalam setiap bentuk kerusakan. Sedangkan pada benda padat porous, kemungkinan air untuk menembus benda padat secara umum menentukan derajat kerusakannya. Beton bukanlah satu-satunya bahan yang rentan terhadap proses kerusakan fisikawi dan kimiawi. Air dalam berbagai bentuknya merupakan fluida yang berlimpah-limpah di alam. Molekul-molekul air sangatlah kecil dan mampu menembus pori-pori atau rongga yang sangat halus sekalipun. Air sebagai bahan pelarut memiliki kemampuan untuk melarutkan banyak zat daripada jenis zat cair lain. Sifat tersebut menjadi penyebab banyak ion-ion dan gas-gas diubah menjadi alat dekomposisi kimiawi bahan benda padat. Air juga memiliki derajat penguapan panas tertinggi dibandingkan zat cair lain. Pada suhu umum, air memiliki kecenderungan berbentuk zat cair pada bahan porous daripada menguap dan meninggalkan bahan porous tersebut menjadi kering. Pada benda padat yang bersifat porous, pergerakan kelembaban dalam dan transformasi struktur air diketahui dapat menyebabkan perubahan volume yang mengacaukan.

Mehta dan Gerwick, seperti dikutip oleh Mehta dan Monteiro (2006), mengelompokkan penyebab kerusakan fisikawi beton ke dalam dua buah kategori utama: (a) rusak/aus permukaan (*surface wear*) atau kehilangan massa karena abrasi, erosi dan kavitas; (b) retak karena suhu normal dan gradien kelembaban, kristalisasi garam pada pori-pori, pembebanan struktur dan hubungannya dengan suhu tinggi seperti pembekuan atau api. Demikian pula, penyebab kerusakan struktur secara kimiawi dibagi menjadi tiga bagian, yaitu : (1) hidrolisis komponen pasta semen oleh air lunak (*soft water*); (2) reaksi perubahan kation antara fluida agresif dan pasta semen; dan (3) reaksi-reaksi penyebab pembentuk produk-produk ekspansif, misalnya: serangan sulfat, reaksi alkali dan agregat, dan korosi baja tulangan di beton. Hal yang perlu ditekankan yaitu perbedaan antara penyebab kerusakan fisikawi dan kimiawi sebenarnya berubah-ubah. Secara praktis, diantara kedua penyebab tersebut seringkali saling menambahi satu dengan lainnya. Misalnya, kehilangan massa karena ausnya permukaan (*surface wear*) dan retak meningkatkan permeabilitas beton yang kemudian menjadi penyebab utama satu atau lebih proses kerusakan kimiawi. Demikian pula, efek-efek merusak dari fenomena kimiawi merupakan suatu bentuk kerusakan fisik. Misalnya, lumernya komponen pasta semen yang mengeras akibat air lunak (*soft water*) atau fluida yang bersifat asam akan meningkatkan porositas beton, sehingga menyebabkan bahan tersebut jauh lebih rentan terhadap abrasi dan erosi.

Menuru Lietai (2008) kerusakan beton yang diisi dengan logam-logam (misalnya conduit, pipa dan baja tulangan serta baja prategangan), umumnya sangat berkontribusi terhadap efek-efek kombinasi. Korosi logam-logam yang ditanam selalu menjadi penyebab masalah utama. Survei terhadap bangunan-bangunan yang runtuh di Inggris memperlihatkan, bahwa antara tahun 1974 sampai dengan 1978 penyebab kegagalan tiba-tiba pada delapan struktur beton yaitu korosi baja tulangan ataupun baja prategangan. Struktur-struktur tersebut berusia 12 sampai dengan 40 tahun saat terjadi keruntuhan, kecuali satu struktur berumur 2 tahun. Baja yang ditanam diharapkan terlindung dari udara oleh tebal penutup beton yang cukup dengan permeabilitas rendah. Hasilnya, korosi baja dan masalah lain yang berhubungan tidak muncul. Secara praktis, harapan tersebut tidaklah benar. Hal ini terbukti dengan tingginya frekuensi kerusakan awal karena korosi baja pada beberapa bangunan beton bertulang dan beton prategang yang mulai terlihat. Timbulnya kerusakan tersebut terutama pada struktur-struktur yang berhadapan dengan bahan kimiawi penghilang es atau lingkungan laut.

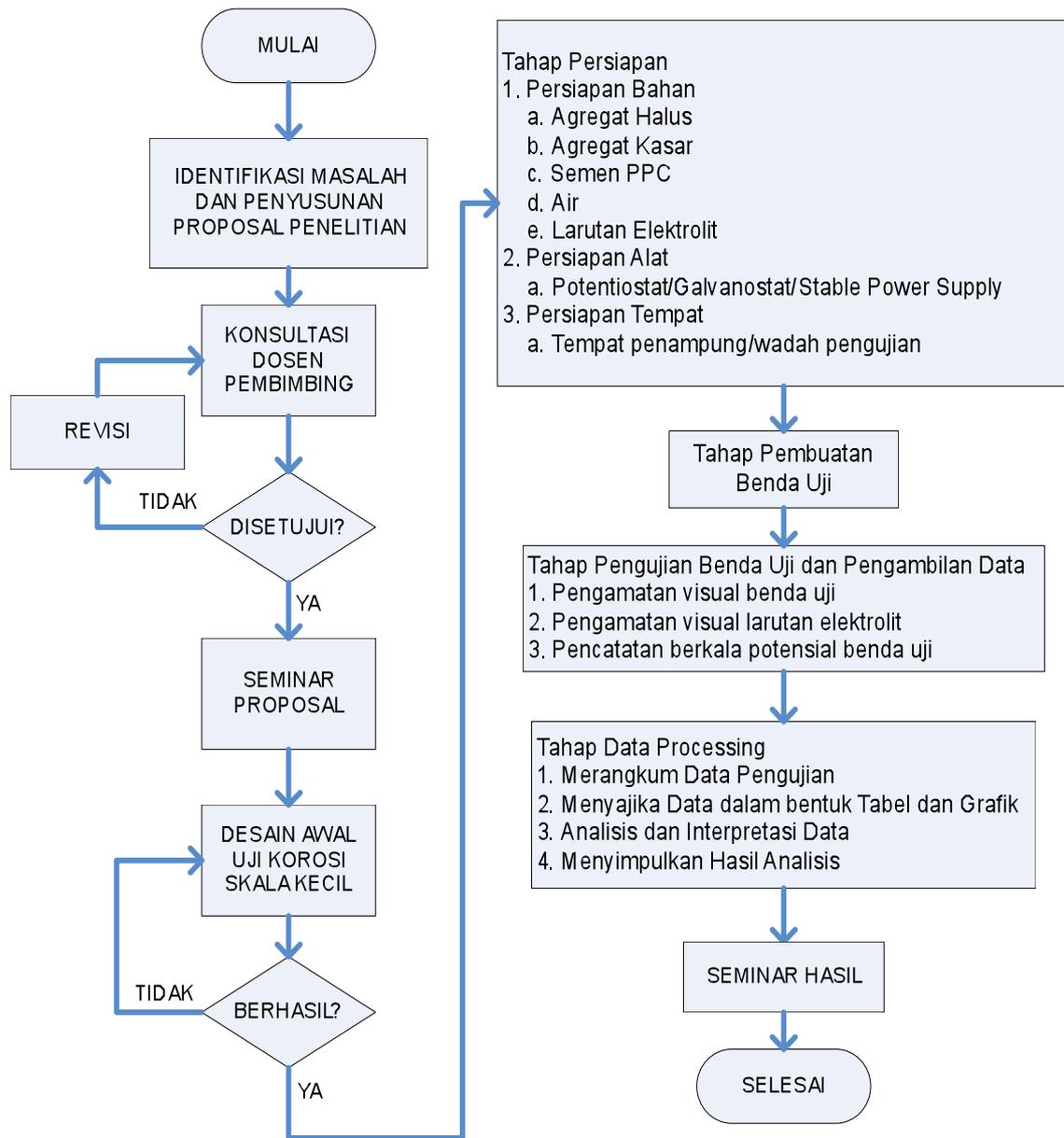
Berdasarkan laporan *Federal Highway of Administration (FHWA)* tahun 1991, terdapat 134.000 jembatan beton bertulang perlu diperbaiki segera dan 226.000 jembatan dalam keadaan kondisi kurang baik. Korosi baja tulangan merupakan hal yang rumit. Sebagai sebuah penyebab kerusakan dari setiap kasus yang banyak terjadi, total dana perbaikan yang diperlukan diperkirakan mencapai US\$90 miliar. Kerusakan beton akibat korosi baja di beton sangat jelas dalam bentuk ekspansi, retak dan pada akhirnya penutup beton terkelupas.

METODE PENELITIAN

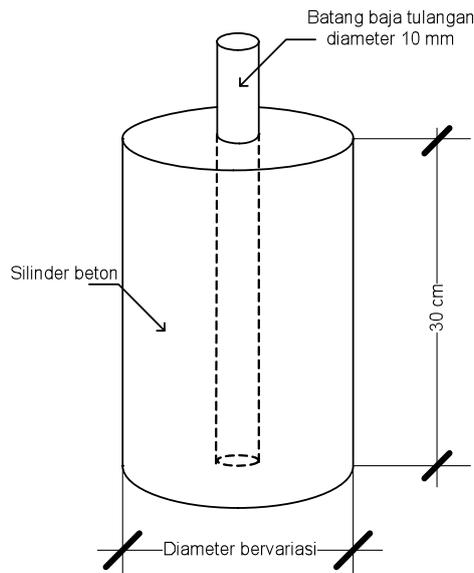
Tahap-tahap penelitian diperlihatkan dalam bentuk diagram alir (*flow chart*), seperti terlihat pada Gambar 1. Pada penelitian ini digunakan agregat-agregat sebagai berikut : (1) agregat halus digunakan pasir dari Sungai Progo, (2) agregat kasar digunakan kerikil/split dari daerah Celereng. Semen yang digunakan semen PPC. Air untuk campuran beton berasal dari laboratorium, sedangkan air untuk larutan elektrolit dibuat sendiri di laboratorium, tidak digunakan air laut yang sesungguhnya. Sehingga dapat dilakukan pengendalian konsentrasi larutan sebesar 3%.

Benda uji berupa silinder dengan variasi tebal selimut beton dan baja tulangan yang berada di tengah-tengah silinder, seperti terlihat pada Gambar 2. Benda uji yang digunakan yaitu batang baja tulangan dengan diameter 10 mm dengan diameter silinder 1,25", 3", 5" dan 6". Masing-masing tebal selimut beton diberi kode yang menunjukkan informasi ketebalan penutup beton dan jumlahnya.

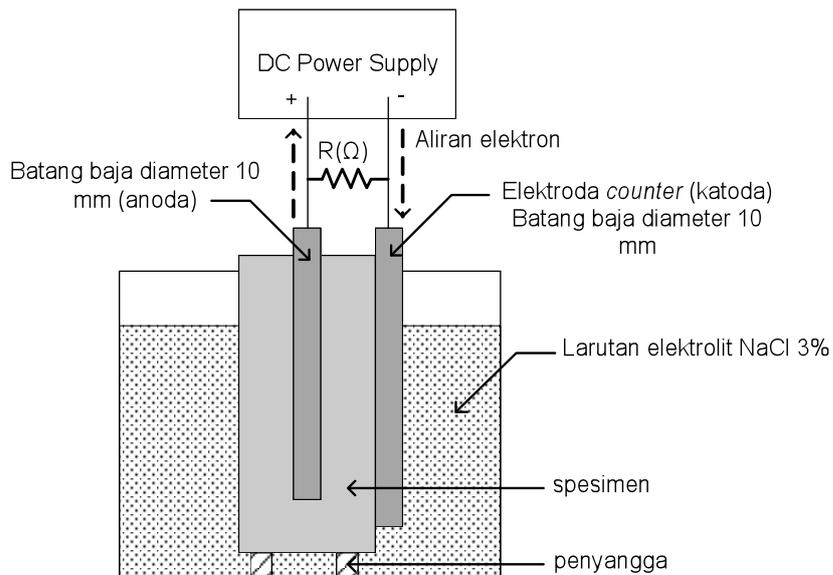
Pengujian utama dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut. Semua benda uji yang telah disiapkan di dalam wadah, pada bagian baja tulangan yang masih menonjol dipasang kabel. Kabel-kabel tersebut dihubungkan dengan *potentiostat/ galvanostat/ stable power supply* yang berfungsi sebagai sumber arus. Sumber arus tersebut kemudian dipasang dan dialiri listrik, kabel-kabel pada benda uji dihubungkan dengan sumber arus listrik tersebut.



Gambar 1. Diagram alir penelitian



Gambar 2. Benda uji silinder dengan baja tulangan di tengah



Gambar 3. Set-Up penelitian

Keluaran tegangan diatur agar tegangan awal yang keluar sebesar 6V. Selama pengujian berlangsung, perubahan potensial (tegangan) setiap benda uji diukur dengan multimeter pada rentang waktu tertentu. Dalam pengujian ini, pengukuran dilakukan setiap pagi, untuk mendapatkan profil perubahan potensial setiap benda uji. Lama waktu pengujian kurang lebih 96 hari. Akan tetapi apabila benda uji sudah menunjukkan adanya kerusakan akibat percepatan korosi, maka sebelum 96 hari pengujian dapat dianggap selesai.

Setelah pengujian percepatan korosi dianggap selesai, benda uji diangkat dari wadah, kemudian spesimen beton beton dipecah untuk diambil batang baja tulangnya. Batang baja tulangan dibersihkan dari kotoran, baik fragmen beton

maupun fragmen batang baja tulangan itu sendiri, kemudian ditimbang beratnya. Seperti saat penimbangan awal, perlu diperhatikan kembali kode setiap baja tulangan yang diuji agar tidak terjadi kesalahan dalam perhitungan kehilangan berat.

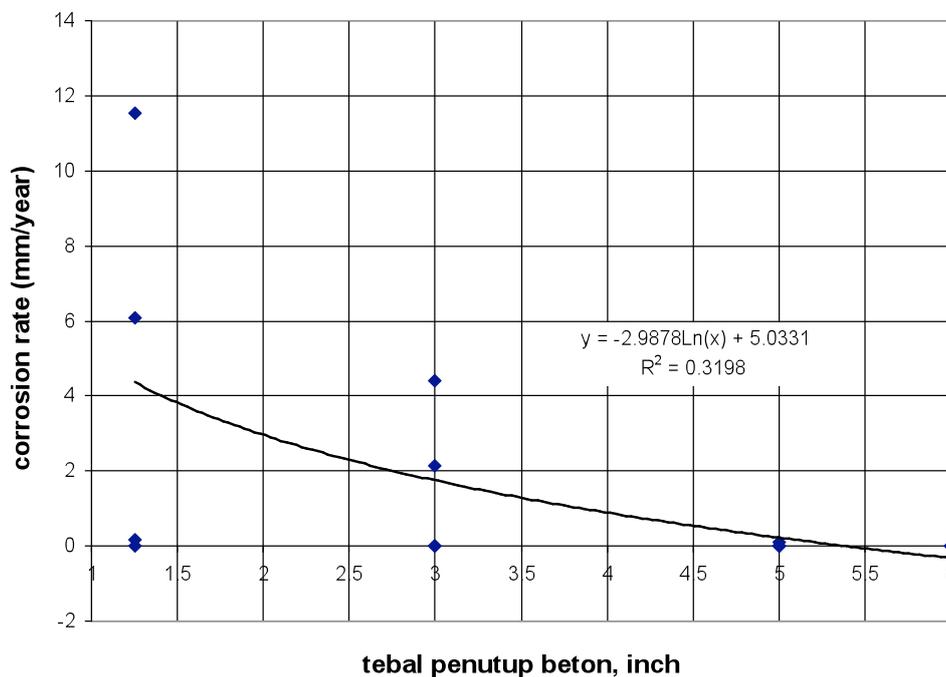
HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Laju Korosi Baja Tulangan

Hasil perhitungan laju korosi baja tulangan dari masing-masing benda uji dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Laju korosi baja tulangan (mm/yr)

spesimen	1,25"	3"	5"	6"
1	0,00	4,410527	0,105013	0,00
2	0,155419	2,125454	0,00	-
3	11,53458	0,00	0,00	0,00
4	6,073926	0,00	0,00	0,00
rerata	4,440980566	1,633995	0,026253	0,00



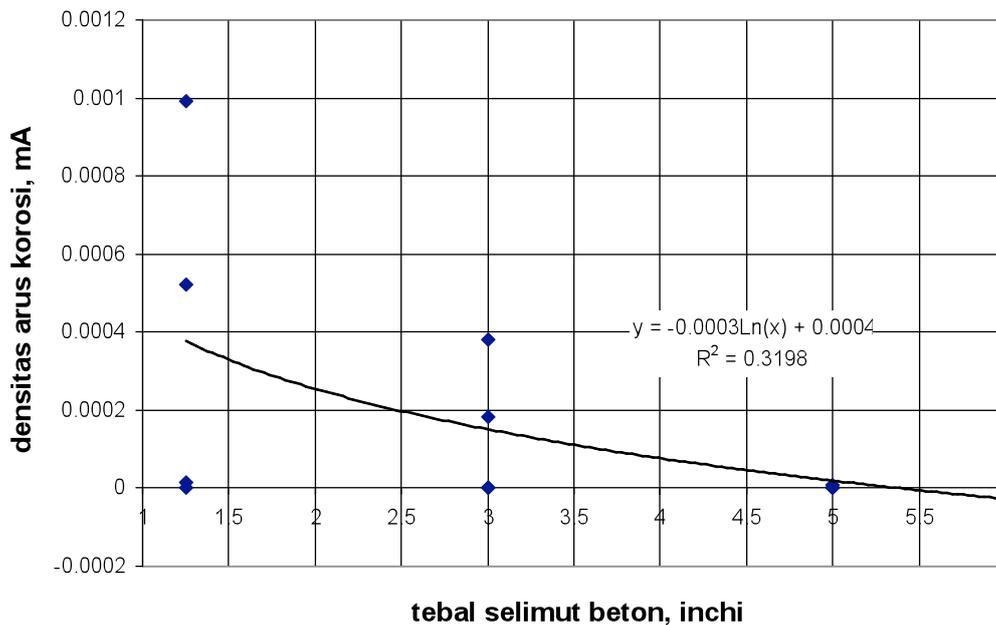
Gambar 4. Hubungan laju korosi dengan tebal penutup beton

Hasil perhitungan densitas arus korosi masing-masing benda uji dapat diberikan dalam Tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Densitas arus korosi baja tulangan (mA/cm²)

spesimen	1,25"	3"	5"	6"
1	0,00	0,00038	9,04E-06	0,00
2	1,33843E-05	0,000183	0,00	-
3	0,000993329	0,00	0,00	0,00
4	0,000523071	0,00	0,00	0,00
rerata	0,000382446	0,000141	2,2E-06	0,00

Terlihat pada Gambar 4 dan 5, bahwa baik laju korosi maupun densitas arus korosi memiliki kecenderungan yang sama terhadap perubahan tebal penutup beton. Hal ini berarti bahwa semakin tebal penutup betonnya, maka dapat diharapkan nilai laju korosi dan nilai densitas arus korosinya semakin menurun. Specimen Ø1,25" merupakan specimen yang paling banyak mengalami kehilangan berat. Dengan demikian, specimen tersebut memiliki nilai laju korosi yang paling besar diantara empat benda uji lainnya. Satuan mm/yr yang digunakan pada penelitian ini berarti bahwa dalam satu tahun, baja tulangan akan mengalami pengurangan ketebalan x mm.



Gambar 5. Hubungan densitas arus korosi dengan tebal selimut beton

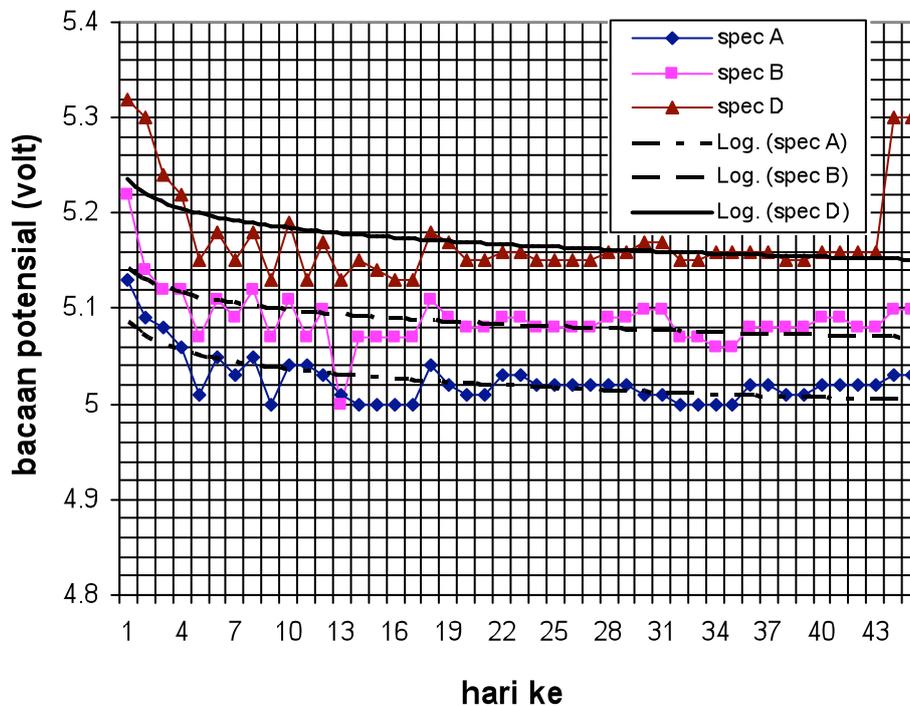
Dapat disimpulkan dari hasil di atas, semakin besar tebal selimut betonnya, kecenderungan terjadi korosi pada batang baja tulangan akan semakin mengecil. Kecenderungan yang sama juga diperlihatkan pada nilai densitas arus korosi (I_{corr}). Seperti halnya pada laju korosi, nilai densitas arus korosi ini pun cenderung menurun saat selimut beton ditebalkan.

2. Beda Potensial

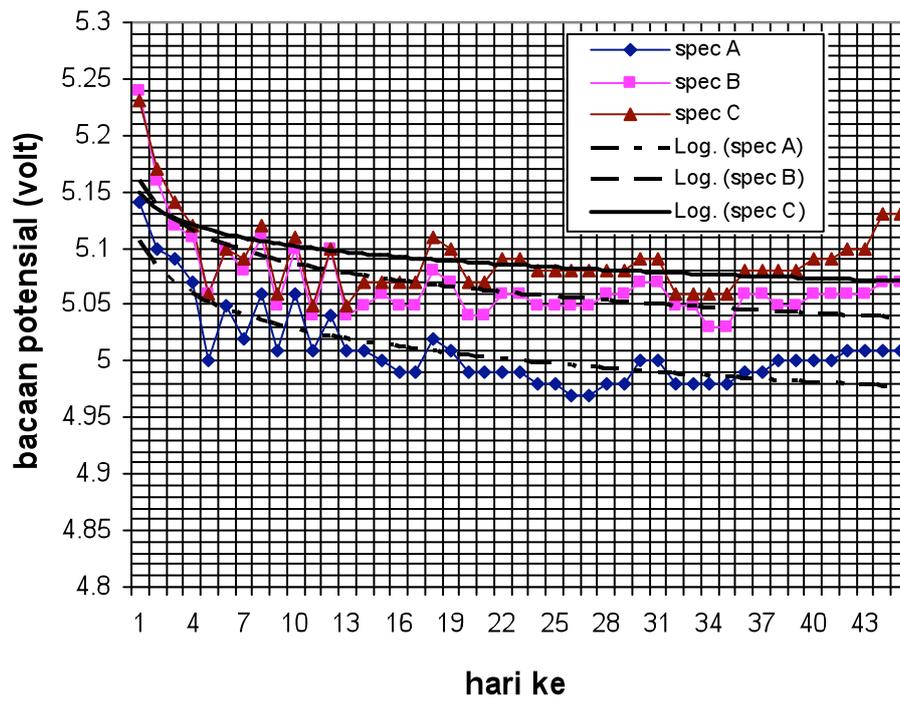
Perubahan potensial pada setiap elemen dicatat dalam suatu bentuk catatan tersendiri. Perubahan potensial dalam bentuk grafik diberikan pada Gambar 6 sampai dengan Gambar 9.

Mengacu pada Gambar 6 sampai dengan Gambar 9, terlihat bahwa kecenderungan setiap benda uji mengalami penurunan potensial sejalan dengan waktu. Penurunan ini diduga akibat spesimen yang jenuh air, sehingga potensialnya turun pada kisaran 5 volt. Faktor lain yang diduga sebagai penyebab turunnya potensial benda uji yakni meningkatnya resistansi benda uji akibat pori-pori yang sudah terisi kerak korosi.

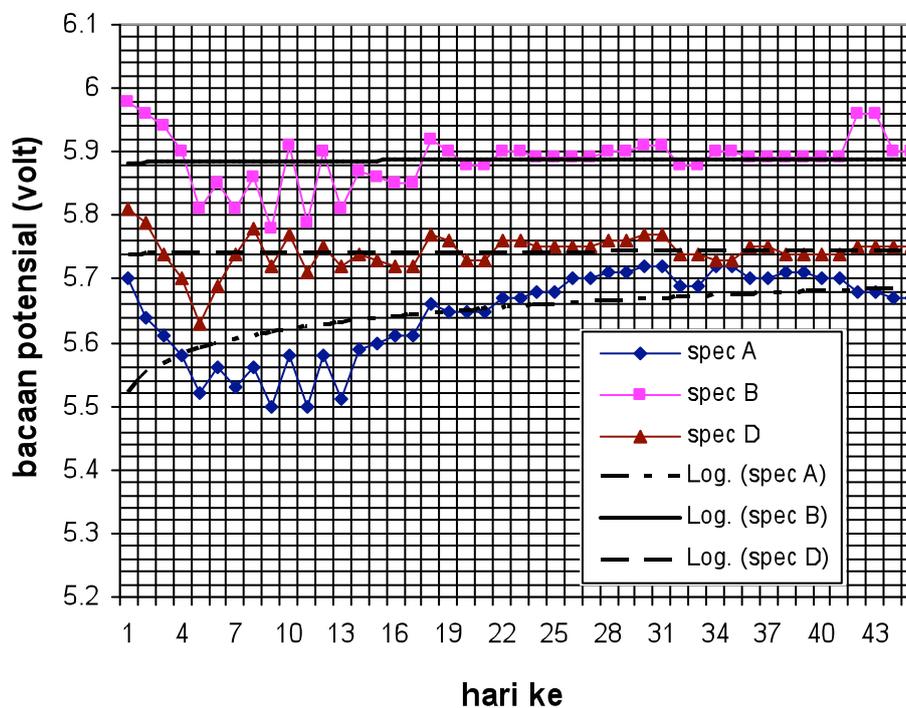
Kesimpulan yang dapat ditarik yakni profil beda potensial pada pengujian korosi akan menurun sejalan dengan lamanya waktu pengujian membentuk kelengkungan hingga suatu waktu membentuk garis lurus.



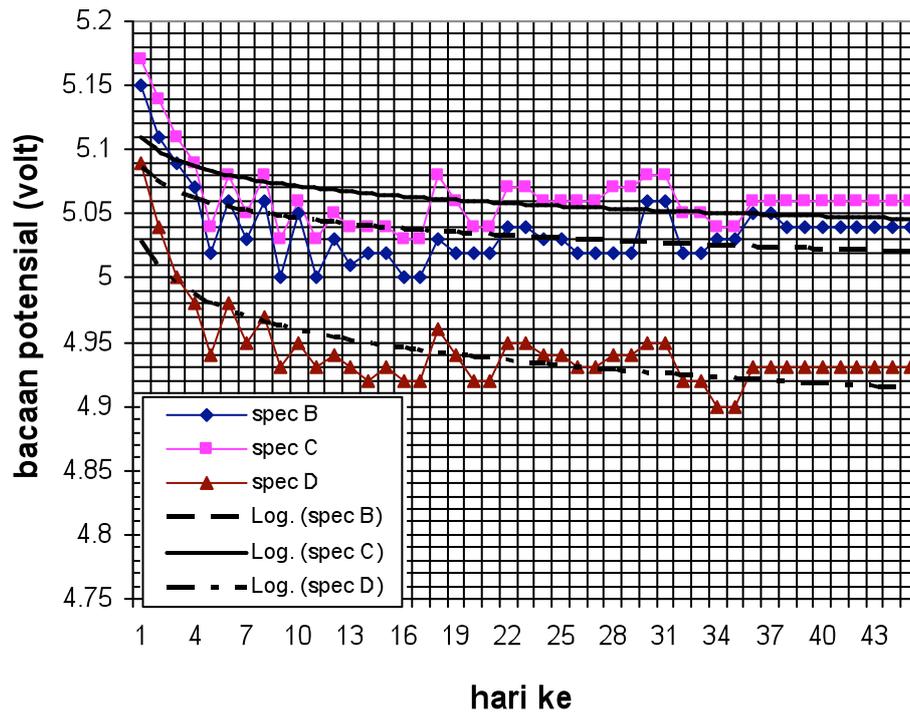
Gambar 6. Profil beda potensial spesimen 1,25"



Gambar 7. Profil beda potensial spesimen 3''



Gambar 8. Profil beda potensial spesimen 5''



Gambar 9. Profil beda potensial spesimen 6"

3. Pola Retak

Pola retak pada pengujian ini diawali dari tengah-tengah spesimen yang terendam atau dekat permukaan air. Pemicunya adalah sifat kerak korosi yang naik ke atas permukaan air dan menempel pada permukaan spesimen. Menempelnya kerak korosi ini juga dipicu terisinya pori-pori spesimen dengan kerak korosi. Faktor ini kemudian memicu spesimen untuk retak dan membuka ruang antara udara luar dengan baja tulangan, sehingga proses korosi akan berjalan lebih cepat. Terbukanya ruang antara udara luar dengan baja tulangan kemudian digunakan oleh kerak korosi untuk masuk ke dalam spesimen mengisi ruang yang terbuka. Daerah yang berada pada pertemuan antara bagian terendam dengan bagian tidak terendam merupakan daerah yang berpotensi terjadi kerusakan berupa retak. Berawal dari daerah ini, retak merembet ke permukaan spesimen sehingga membuat garis retak.



Gambar 10. Pola retak spesimen 1,25" (a)



Gambar 11. Pola retak spesimen 1,25" (b)



Gambar 12. Pola retak awal spesimen 3"



Gambar13. Retak spesimen 3" semakin lebar

4. Karbonasi Beton

Uji karbonasi dilakukan menggunakan *bufferphenolphtalein* yang merupakan metode yang cepat dan murah untuk mengetahui pengaruh karbonasi secara kualitatif. Baik untuk spesimen $\varnothing 5"$ dan spesimen $\varnothing 6"$ keduanya masih aman dari serangan karbonasi. Hal ini didukung dengan tidak terdapatnya bagian yang terkorosi (tidak terdapat kerak korosi di dalam spesimen $\varnothing 5"$ dan spesimen $\varnothing 6"$).

Sehingga dapat disimpulkan bahwa pada spesimen yang telah terkorosi umumnya sudah mengalami karbonasi akibat retak pada spesimen. Sedangkan pada spesimen yang belum/tidak terkorosi umumnya belum/tidak terkarbonasi sebab tidak terdapat ruang terbuka akibat retak.



Gambar 14. Karbonasi beton spesimen 1,25" (a)



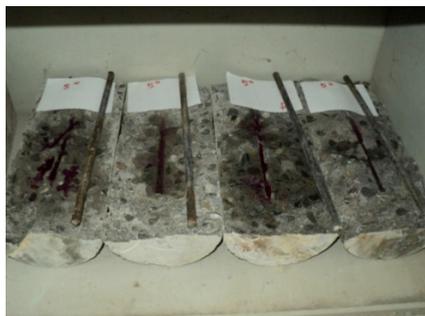
Gambar 15. Karbonasi beton spesimen 1,25" (b)



Gambar 16. Karbonasi beton spesimen 3" (a)



Gambar 17. Karbonasi beton spesimen 3" (b)



Gambar 18. Karbonasi beton spesimen 5"



Gambar 19. Karbonasi betonspesimen 6"

KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan di atas, beberapa hal dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Terdapat kecenderungan penurunan laju korosi dan densitas arus korosi (I_{corr}) terhadap kenaikan tebal selimut beton. Besarnya penurunan laju korosi untuk spesimen $\varnothing 1,25''$, $\varnothing 3''$, $\varnothing 5''$ dan $\varnothing 6''$ berturut-turut yakni 4,440981 mm/yr, 1,633995 mm/yr, 0,026253 mm/yr dan 0 mm/yr. Sedangkan penurunan densitas arus korosi (I_{corr}) untuk spesimen $\varnothing 1,25''$, $\varnothing 3''$, $\varnothing 5''$ dan $\varnothing 6''$ berturut-turut yakni 0,000382446 mA/cm², 0,000141 mA/cm², $2,26 \times 10^{-6}$ mA/cm² dan 0,00 mA/cm².
2. Beda potensial akan menurun sejalan dengan waktu pengujian membentuk kelengkungan hingga mencapai suatu waktu dimana profil beda potensial akan membentuk garis lurus.
3. Pola retak yang terjadi berawal dari daerah pertemuan antara bagian yang terendam dengan bagian yang tidak terendam kemudian merembet ke seluruh bagian spesimen.
4. Spesimen yang mengalami karbonasi didominasi oleh spesimen yang telah terkorosi, sedangkan spesimen yang masih aman terhadap serangan korosi tidak mengalami karbonasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Broomfield, J. P., 2007, *Corrosion of Steel in Concrete 2nd Edition*. Taylor and Francis., London and New York.
- [2] Klinghoffer, O., Frølund, T., and Poulsen, E., 2000, *Rebar Corrosion Rate Measurement for Service Life Estimates*. ACI Fall Convention "Practical Application of Service Life Models"., Toronto, Canada
- [3] Leelalerkiet, V., Shimizu, T., Tomoda, Y., and Ohtsu, M., 2005, *Estimation of Corrosion in Reinforced Concrete by Electrochemical Techniques and Acoustic Emission*. Journal of Advanced Concrete Technology Vol 3, No 1, Japan Concrete Institute., pp. 137 – 147.
- [4] Lietai, Y., 2008, *Techniques for Corrosion Monitoring – Southwest Research Institute*. Woodhead Publishing Limited., Cambridge, England.
- [5] Mehta, P. K., and Monteiro, P. J.M., 2006, *Concrete – Microstructure, Properties, and Materials Third Edition*. McGraw-Hill Book Companies., New York.
- [6] Richardson, M. G., 2002, *Fundamentals of Durable Reinforced Concrete*. Spoon Press., London and New York.