

## Pengaruh Waktu Perendaman Dan Tebal Selimut Beton Terhadap Korosi Beton Bertulang Yang Terendam Air Laut

Husni, M. Ridha, N. Ali, A. Halim, R. D. I. Kurnia  
Laboratorium Material, Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik  
Universitas Syiah Kuala, Darussalam, Banda Aceh

### Abstrak

*Struktur beton bertulang banyak digunakan sebagai infrastruktur bangunan, seperti jembatan, gedung, dan pelabuhan. Tulangan baja dalam beton terlindungi dari korosi karena terbentuknya lapisan pasif, tetapi pada kondisi lingkungan yang mengandung ion klorida lapisan pasif dapat rusak sehingga baja tulangan akan mengalami korosi. Dalam penelitian ini, studi pengaruh waktu perendaman dan ketebalan selimut beton (mortar) terhadap proses korosi baja tulangan di dalam larutan 3.5% wt NaCl telah dilakukan selama 31 hari dengan perlakuan 24 jam basah–24 jam kering. Potensial baja tulangan di permukaan mortar telah diukur dengan menggunakan teknik half-cell potential mapping. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin lama proses perlakuan basah–kering diterapkan, maka nilai potensial yang terukur akan semakin negatif. Hal ini ditunjukkan dengan perubahan nilai potensial yang terukur di atas permukaan mortar berkisar dari -385,6 mV sampai dengan -694,2 mV setelah perendaman 31 hari dengan perlakuan basah–kering setiap 24 jam. Pengaruh ketebalan selimut beton akan terlihat pada saat dilakukan pengukuran terhadap benda uji dalam kondisi yang kering dengan waktu pengeringan lebih dari 5 jam sebelum pengukuran potensial dilakukan. Ketebalan selimut beton dari benda uji berpengaruh terhadap nilai potensial yang terukur pada permukaan benda uji dimana dengan bertambahnya ketebalan selimut beton maka nilai potensial yang terukur di atas permukaan beton akan semakin positif.*

**Kata kunci:** korosi baja tulangan, beton, waktu perendaman, tebal selimut beton, half-cell potential mapping.

### PENDAHULUAN

Peristiwa korosi seringkali terjadi di berbagai sektor kehidupan, terutama di sektor industri yang cukup banyak menggunakan bahan logam seperti industri kimia, petrokimia, dan perkapalan. Selain itu, korosi juga mengakibatkan rusaknya sejumlah fasilitas infrastruktur seperti jembatan, dan dermaga pelabuhan. Di negara maju seperti Amerika Serikat, berdasarkan hasil survei, kerugian yang disebabkan oleh korosi mencapai US\$ 276 Miliar setiap tahun. Kerugian ini sama dengan 3.1 persen dari *Gross Domestic Product* (GDP) negara mereka ([www.corrosioncost.com](http://www.corrosioncost.com)). Di Indonesia, walaupun datanya belum begitu akurat, Sekitar 20 triliun rupiah diperkirakan hilang percuma setiap tahunnya karena proses korosi. Angka ini setara 2-5 persen dari total *gross domestic product* (GDP) sejumlah industri yang ada (Sriwijaya Post, 2005).

Penggunaan baja tulangan di dalam beton adalah salah satu faktor untuk meningkatkan ketahanan (*durability*) suatu infrastruktur, apabila tulangan baja di dalam beton tersebut terkorosi maka ketahanan dari suatu struktur akan berkurang, hal ini dapat menyebabkan kegagalan atau terjadinya kecelakaan yang dapat berdampak seperti hilangnya nyawa manusia, ambruknya jembatan atau runtuhnya gedung berlantai. Korosi baja tulangan dalam struktur beton bertulang (steel-reinforced concrete) telah menjadi masalah yang mendunia, dan menarik perhatian banyak peneliti dan praktisi yang terkait. Sampai sekarang mereka terus-menerus meneliti korosi yang terjadi pada suatu infrastruktur dan juga metode-metode pencegahannya untuk memperpanjang umur pakai suatu bangunan.

Dalam kondisi normal, baja tulangan dalam beton bersifat pasif, karena lingkungan beton bersifat alkali. Salah satu faktor yang dapat merusak lapisan itu adalah meresapnya ion klorida ke dalam beton yang menyebabkan turunnya pH lingkungan beton, pada tingkat di mana baja tulangan dapat terkorosi. Ion klorida bisa terdapat dalam air laut atau agregat yang terkontaminasi air laut pada saat pembuatan beton bertulang. Air laut mengandung sekitar 3,5 %wt NaCl dan terdapat sebagai ion

$\text{Na}^+$  dan  $\text{Cl}^-$ . Ion klorida ini akan berdifusi ke dalam beton dan akan bereaksi dengan baja tulangan yang akan merusak lapisan pasif di atas permukaan tulangan [Broomfield, 1997]. Kehadiran ion klorida membuat ikatan kimia pada lapisan pasif putus karena bereaksi dengan ion klorida dan akan membentuk klorida. Hal ini menyebabkan pH dalam beton menurun dari keadaan normal (pH 12, 5), menjadi 11 atau di bawahnya. Pada proses ini ion klorida tidak dikonsumsi, melainkan hanya menjadi katalis, yang membantu menetralkan air yang dapat merusak lapisan pasif karena turunnya pH [Broomfield, 1997 & Sagues *et al.*, 2003].

Beberapa faktor mempengaruhi tingkat intrusi ion klorida ke dalam baja tulangan seperti lamanya suatu infrastruktur terendam dalam air laut dan ketebalan selimut beton. Dalam penelitian ini, kedua faktor tersebut akan diteliti untuk melihat pengaruhnya terhadap tingkat korosi baja tulangan.

## METODE PENELITIAN

### Benda Uji

Pasir yang digunakan berasal dari pasir sungai yang telah di samakan agregat pasir melalui pengayakan dengan ukuran butir 0.59 mm. Setelah mengalami proses pengayakan kemudian pasir di campur dengan semen Portland tipe 1 produksi PT. Semen Andalas Indonesia (PT. SAI), dengan komposisi  $w/c : 0.52\%$  dan  $s/c : 2.76\%$ . Campuran ini kemudian dicor bersama dengan baja tulangan berdiameter 0.011 m dengan panjang 0.52 m sehingga dihasilkan beton (mortar) yang berukuran  $0.03 \times 0.03 \times 0.03$  m seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Daerah tulangan yang terbuka (yang tidak dicor) di lapiasi dengan cat agar terlindung dari udara terbuka yang bersifat korosif sehingga yang terkorosi diharapkan hanya pada bagian baja dalam mortar. Spesimen uji kemudian dicor ke dalam cetakan dan di biarkan di dalam cetakan selama 7 (tujuh) hari.



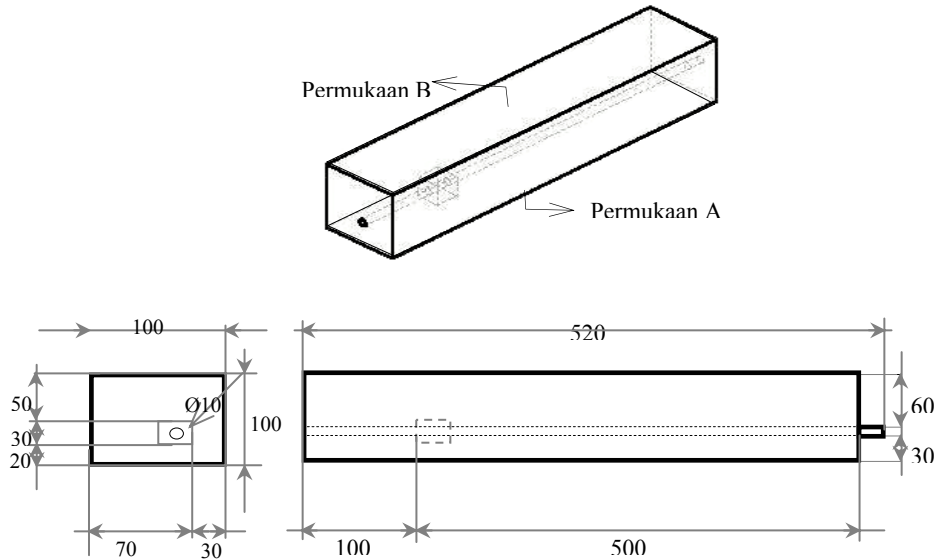
Gambar 1. Spesimen Uji 1

Pada penelitian ini spesimen uji di berikan dua perlakuan perendaman. Untuk perendaman tahapan pertama spesimen di rendam di dalam air bersih selama 28 hari, yang dimaksudkan agar kekuatan mekanik daerah mortar homogen [A.F. Idris, Sc. Negi, J.C. Jofriet, G.L. Hayward, 2001]. Kemudian spesimen di rendam dalam air yang mirip dengan air laut yang mengandung 3.5% NaCl [KR. Trethwey, 1991] selama 31 hari dengan perlakuan basah – kering setiap 24 jam. Sebelum di lakukan perendaman, pada bagian sisi kiri dan kanan baja tulangan yang bersentuhan dengan coran berbentuk kubus ditutupi dengan silicon, yang berfungsi agar peresapan air yang masuk ke dalam mortar bukan terjadi melalui celah antara mortar dan tulangan tetapi melalui permukaan mortar itu sendiri.

Untuk melihat pengaruh ketebalan beton terhadap korosi baja tulangan, maka benda berbentuk balok dengan ukuran  $p = 50$  cm,  $l = 10$  cm dan  $t = 10$  cm disiapkan. Proses pembuatan benda uji ini dilakukan dalam dua tahap, yaitu tahap pertama, baja tulangan dicor berbentuk kubus dengan tulangan baja ditengahnya, dan pada tahap kedua, benda uji yang berbentuk kubus dicor berbentuk balok. Benda uji dengan ukurannya dinyatakan dalam satuan mm selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 2.

Selanjutnya benda uji direndam dengan air laut buatan dengan kandungan 3,5 %wt NaCl, dengan perlakuan basah-kering setiap 24 jam. Perlakuan ini diberikan kepada benda uji selama 2 minggu. Setelah 2 minggu pada permukaan baja tulangan dalam beton akan terbentuk karat. Karat pada daerah yang diberikan pelapisan (coating) dibersihkan, lalu dilapisi ulang. Pada bagian sisi kiri dan kanan baja tulangan yang bersentuhan dengan coran berbentuk kubus ditutupi dengan aspal, hal ini bertujuan agar air yang meresap kedalam beton bukan dari celah antara beton dan baja tulangan. Kemudian benda uji kembali direndam dalam air bersih (fresh water) selama 2 minggu. Pada tahap

kedua benda uji berbentuk kubus dicor dalam cetakan besar seperti pada Gambar 2. Selanjutnya dilakukan pengukuran potensial pada kedua permukaan benda uji untuk ketebalan selimut beton 3 dan 6 cm.



Gambar 2. Spesimen uji 2 (satuannya mm).

**Teknik Half-Cell Potential Mapping**

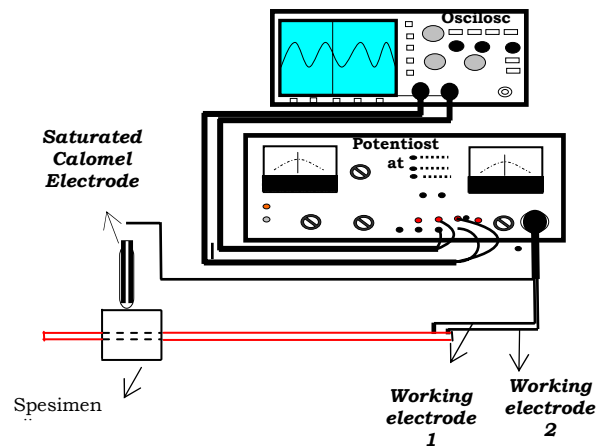
Teknik *Half-Cell potential mapping* adalah suatu teknik untuk mendeteksi lokasi korosi dengan cara melakukan pengukuran potensial di permukaan beton, di mana nilai potensial dipengaruhi oleh kondisi pada permukaan baja tulangan [Ridha & Aoki, 2005]. Tabel 1 menunjukkan nilai potensial yang terukur pada permukaan beton terhadap beberapa jenis elektroda *standard half-cell* dengan kondisi korosi baja tulangan dibawahnya [Broomfield, 1997].

Peralatan yang digunakan meliputi *Potensiostart* merek *Hokuto Denko* tipe: Ha – 301, *Oscilloscope* merek *Tektronik* tipe: TDS 340, dan elektroda acuan *saturated calomel electrode (SCE)* merek *TOA* tipe: TOA – 201. Rangkaian alat-alat ini secara skematis ditunjukkan pada Gambar 3.

Pengukuran pertama dilakukan terhadap spesimen uji 1 setelah perendaman 28 hari di dalam air bersih yang di anggap sebagai nol hari sebelum di lakukan pengukuran dengan perlakuan basah - kering setiap 24 jam di dalam larutan 3,5 % NaCl. Pengukuran pertama dilakukan setelah perlakuan basah– kering selama 7 hari (lihat Tabel 2).

Tabel 1. ASTM C-786 memberikan kriteria korosi baja tulangan untuk beberapa standar Half-cell [Broomfield, 1997].

<i>Saturated Copper/ Copper Sulphate, (mv)</i>	<i>Silver/Silver Chloride/ 4M KC, (mV)</i>	<i>Standard Hydrogen Electrode, SHE, (mV)</i>	<i>Standard Calomel Electrode, SCE, (mV)</i>	<i>Kondisi Korosi</i>
> -200	>-106	> + 116	>-126	Rendah
-200 - -350	-106 - -256	+116 - -34	-126 - -276	Sedang
< -350	<-256	<-34	< -276	Tinggi
< - 500	<-406	<-184	<-426	Sangat tinggi



Gambar 3. Rangkaian alat pengujian

Tabel 2. Jadwal pengukuran potensial untuk spesimen uji 1.

Perlakuan	Waktu (hari)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Wet																
Dry																
Pengukuran																
	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Wet																
Dry																
Pengukuran																

Kemudian pengukuran dilakukan terhadap spesimen 2 pada waktu perendaman yang tetap (31 hari perendaman) dalam larutan 3,5 %wt NaCl. Pada setiap benda uji dilakukan pengukuran di sepuluh titik pada dua permukaan (A dan B, lihat Gambar 2), dimulai dari titik yang berjarak 2,5 cm sampai 47,5 cm dengan kelipatan 5 cm.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

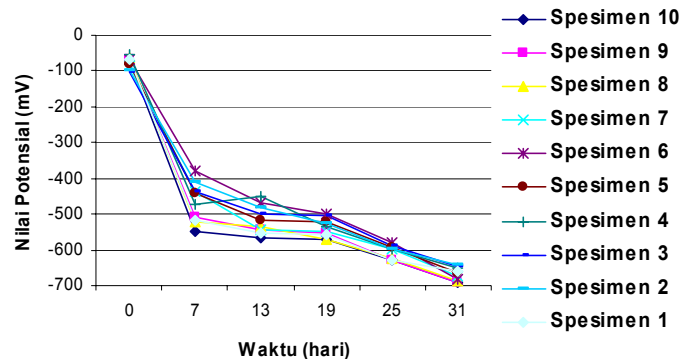
### Pengaruh Waktu Perendaman Terhadap Nilai Potensial

Pada dasarnya, tulangan di dalam mortar tidak akan terkorosi karena terlindung oleh lapisan pasif antara permukaan tulangan dengan mortar, yang dihasilkan oleh pasta semen pada saat pengecoran. Namun proses perlakuan untuk merusak lapisan pasif membutuhkan waktu yang cukup lama. Akan tetapi, dengan perlakuan basah–kering yang dilakukan pada penelitian ini lapisan pasif diharapkan akan terusak dengan cepat.

Seperti ditunjukkan pada Gambar 4, nilai potensial yang dihasilkan saat pengukuran setelah perendaman selama 31 hari dengan metode 24 jam basah–24 jam kering, mengalami perubahan yang mencolok dimana nilai potensial yang dihasilkan pada permukaan tulangan di dalam mortar turun dengan sangat besar dibandingkan dengan potensial hasil pengukuran setelah perendaman 28 hari di dalam air bersih. Hal ini berlaku untuk semua spesimen yang digunakan pada penelitian ini.

Nilai potensial pada saat pengukuran setelah 7 hari basah–kering terdapat perbedaan pada masing–masing spesimen, tetapi nilai potensial tiap-tiap spesimen tetap mengalami penurunan yang sangat drastis. Perbedaan nilai potensial ini terjadi akibat belum sempurnanya ion klorida yang meresap ke dalam mortar hingga mencapai permukaan tulangan, hal ini juga terlihat pada perubahan nilai potensial yang terukur setelah 13 hari perendaman dengan profil yang sama. Akan tetapi, pada saat pengukuran selanjutnya yaitu setelah perlakuan basah – kering selama 19, 25 sampai 31 hari nilai potensial yang terukur memperlihatkan profil perubahan potensial yang hampir sama. Hal ini membuktikan bahwa setelah perendaman 19 hari perlakuan basah–kering peresapan ion klorida sudah mulai merata. Berdasarkan hasil pengukuran nilai potensial dengan menggunakan kalomel sebagai

elektroda acuan setelah perendaman 31 hari, maka menurut kriteria korosi baja tulangan standar ASTM C-786, korosi baja tulangan ini yang terjadi dalam mortar dapat di golongkan ke dalam korosi sangat tinggi (parah).

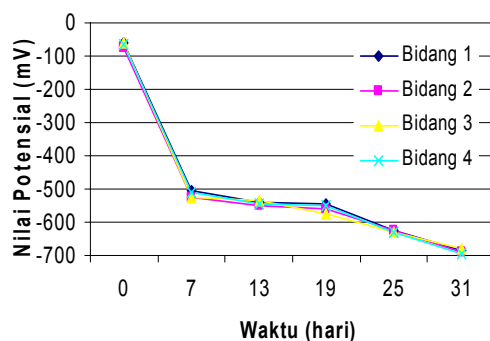


Gambar 4. Perubahan nilai potensial setelah perlakuan basah–kering selama 31 hari pada salah satu bidang pengukuran untuk setiap spesimen.

hal lain yang mempengaruhi tingkat penurunan nilai potensial adalah terdapatnya rongga–rongga kecil (*void*) pada permukaan mortar yang akan mempercepat meresapnya ion klorida kedalam mortar hingga mencapai permukaan tulangan, yang disebabkan oleh semakin dekatnya jarak tempuh ion untuk mencapai permukaan tulangan. Semakin lama waktu perendaman maka semakin banyak ion yang masuk ke dalam mortar sehingga akan lebih mempercepat menurunnya nilai potensial yang pada akhirnya akan mempengaruhi laju korosi pada tulangan di dalam mortar.

Nilai potensial yang terukur setelah 7 sampai 31 hari perendaman basah–kering di dalam 3.5% NaCl mengalami penurunan dengan sangat tajam seperti terlihat pada spesimen no.1 (Gambar 5). Berdasarkan nilai–nilai potensial tersebut pada permukaan baja tulangan di dalam mortar dan dibandingkan dengan standar ASTM C-786, maka baja tulangan ini dapat dikatakan telah terkorosi dengan parah.

Nilai potensial yang terukur setelah 28 hari perendaman di dalam air bersih (0 hari) akan menurun drastis setelah dilakukan perendaman selama 7 hari basah – kering di dalam 3.5% NaCl. Gambar 5 menunjukkan penurunan nilai potensial dan mempunyai kecenderungan yang sama pada setiap bidang spesimen. Tingkat penurunan nilai potensial akan semakin negatif dengan bertambahnya waktu perendaman.

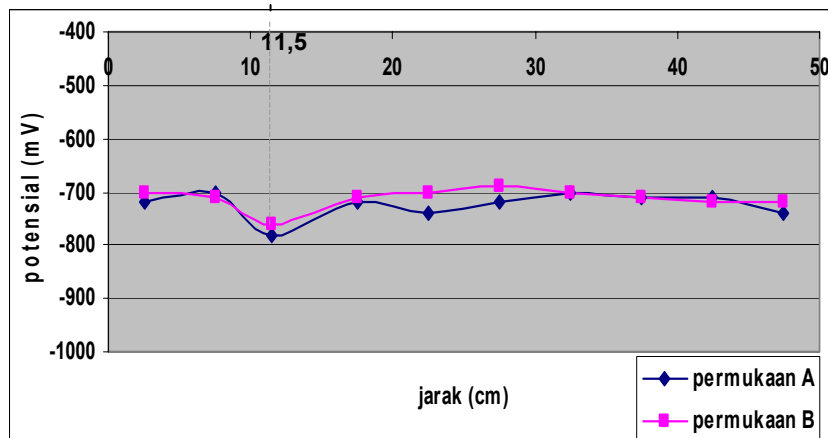


Gambar 5. Perubahan nilai potensial setelah perlakuan basah–kering selama 31 hari pada spesimen no.1.

### Pengaruh Ketebalan Selimut Beton Terhadap Profil Potensial

Profil potensial terhadap jarak, yang dimulai dari jarak 2,5 cm sampai 47,5 cm pada permukaan beton. Pengukuran ini dilakukan dengan maksud untuk mengamati profil potensial. Data hasil pengukuran diplot dalam bentuk grafik potensial terhadap jarak seperti ditunjukkan pada Gambar

6. Dari grafik dapat diamati bahwa pada daerah yang terjadi korosi setempat atau yang parah terjadi korosi nilai potensialnya akan lebih negatif, apabila dibandingkan dengan daerah-daerah pengukuran yang lainnya.

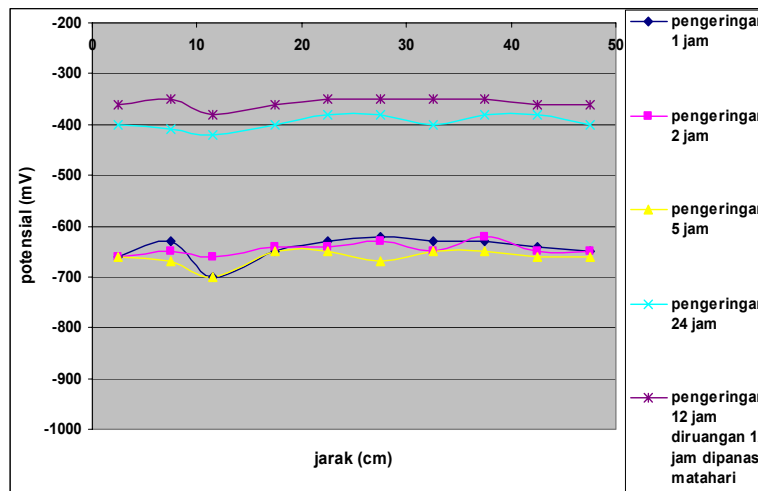


Gambar 6. Grafik profil potensial terhadap jarak pada benda uji dengan ketebalan selimut beton 3 cm (permukaan A) dan 6 cm (permukaan B).

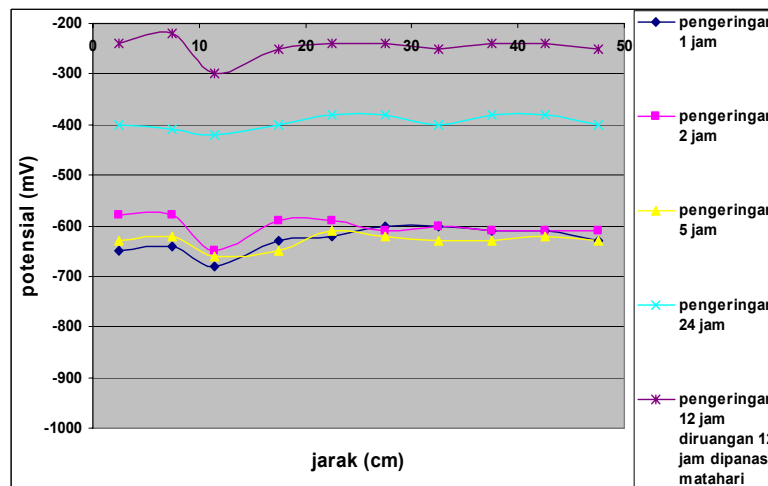
Sebagai contoh untuk benda uji dengan ketebalan 3 cm, hasil pengukuran menunjukkan bahwa terdapat nilai potensial yang lebih negatif, pada jarak 2,5 cm, 11,5 cm, 22,5 cm, 27,5 cm, dan 47,5 cm jika dibandingkan dengan pengukuran pada jarak yang lain. Nilai yang paling negatif adalah pada jarak 11,5 cm yaitu sebesar -780 mV. Hal ini menandakan bahwa pada daerah tersebut memiliki kemungkinan terkorosi paling tinggi dibandingkan dengan daerah-daerah lain.

Seperti yang terlihat pada Gambar 6, ketebalan selimut beton dari benda uji berpengaruh terhadap nilai potensial yang terukur pada permukaan benda uji. Hal ini terlihat dari hasil pengukuran pada permukaan A memiliki nilai potensial yang lebih negatif, bila dibandingkan dengan nilai potensial yang terukur pada permukaan B, tetapi dalam penelitian ini, ketebalan selimut beton tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap perubahan nilai potensialnya. Hal ini terjadi apabila pengukuran dilakukan pada saat benda uji masih dalam kondisi yang basah (pengeringan 30 menit). Sebaliknya, seperti ditunjukkan pada Gambar 7 dan 8, pengaruh ketebalan selimut beton ini akan terlihat pada saat dilakukan pengukuran terhadap benda uji dalam kondisi yang kering (di atas 5 jam). Hal ini terjadi karena kemampuan benda uji (beton bertulang) sebagai suatu konduktor semakin kurang baik, seiring berkurangnya kadar kandungan air dalam rongga benda uji.

Nilai potensial yang terukur pada permukaan benda uji ditentukan juga oleh lamanya waktu pengeringan sebelum dilakukan pengukuran potensial pada permukaan mortar (Gambar 7 dan 8). Pada saat pengukuran dilakukan dengan variasi waktu pengeringan lebih dari 5 jam, maka nilai potensial yang didapat semakin positif. Hal ini berarti makin kering benda uji maka nilai potensial yang terukur makin positif. Sedangkan untuk variasi waktu pengeringan 1 dan 2 jam menunjukkan nilai potensial yang kurang stabil, seharusnya pada saat benda uji dalam kondisi basah seperti ini potensialnya paling negatif. Dari grafik dapat dilihat bahwa pengukuran yang dilakukan dengan variasi waktu pengeringan 24 jam dan variasi waktu pengeringan 5 jam (*agak kering*) memiliki nilai potensial yang lebih stabil.



Gambar 4.4. Profil potensial terhadap pada benda uji permukaan A dengan waktu pengeringan bervariasi sebelum pengukuran.



Gambar 4.5 Profil potensial terhadap jarak pada benda uji permukaan B dengan waktu pengeringan bervariasi sebelum pengukuran.

### KESIMPULAN

Perendaman dengan perlakuan 24 jam basah–24 jam kering selama 31 hari di dalam larutan 3.5% NaCl akan mempengaruhi nilai potensial pada permukaan baja tulangan. Semakin lama proses perlakuan basah–kering diterapkan, maka nilai potensial yang terukur akan semakin negatif. Hal ini ditunjukkan dengan perubahan nilai potensial yang terukur di atas permukaan mortar berkisar dari -385,6 mV sampai dengan -694,2 mV setelah perendaman 7-31 hari. Semakin negatif nilai potensialnya semakin tinggi pula tingkat korosifitas tulangan di dalam mortar.

Ketebalan selimut beton (mortar) dari benda uji berpengaruh terhadap nilai potensial yang terukur pada permukaan benda uji, tetapi dalam penelitian ini, ketebalan selimut beton tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap perubahan nilai potensialnya, jika pengukuran dilakukan setelah pengeringan 1-5 jam. Pengaruh ketebalan selimut beton ini akan terlihat pada saat dilakukan pengukuran terhadap benda uji dalam kondisi yang kering yaitu waktu pengeringan lebih dari 5 jam sebelum pengukuran. Dengan bertambahnya ketebalan selimut beton maka nilai potensial yang terukur di atas permukaan beton akan semakin positif atau bertambah.

## REFERENSI

Broomfield, J.P. (1997) Corrosion of steel in concrete: understanding, investigation, and repair. London: E & FN SPON.

Cost of Corrosion in the US (2007) [online], [diakses pada tanggal 10 Februari 2007]. Terdapat pada web: [www.corrosioncost.com](http://www.corrosioncost.com).

Ridha, M. & Aoki, S. (2005) Potential Mapping Technique for Reinforced Concrete Corrosion Monitoring—Analysis some factors affecting its accuracy using BEM. Proc. of Indonesian Scientific Conference, ISA-Japan and Tokyo Tech., Tokyo, pp. 230-239, ISBN: 0918-7685.

Sriwijaya Post (2005) Korosi Sebabkan kerugian Rp 20 Trilyun di Indonesia.

Sagues, A.A., Pech-Canul, M.A., Shahid Al-Mansur, A.K.M. (2003) Corrosion macrocell behavior of reinforcing steel in partially submerged concrete columns. *Corrosion Science*, 45, p. 7–32