

PENGARUH MUTU BETON TERHADAP EFEKTIVITAS *IMPRESSED CURRENT CATHODIC PROTECTION* DENGAN *CARBON FIBER REINFORCED POLYMER LAMINATE* SEBAGAI ANODA

Kevin¹, Grace Christiani Linggadiharja², Daniel Tjandra³ and Gunawan Budi Wijaya⁴

ABSTRAK : Struktur beton bertulang yang mengalami korosi dapat menyebabkan kegagalan struktur. Metode perlindungan yang digunakan untuk mengatasi korosi tersebut adalah *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP) dengan *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP) *laminates* sebagai anoda. Untuk melihat efektivitas dari ICCP dilakukan *half cell potential test* untuk mengetahui peluang terjadinya korosi. Pada penelitian ini, variabel yang digunakan adalah mutu beton $f_c' 20$ MPa, $f_c' 30$ MPa, dan $f_c' 40$ MPa. Variasi mutu beton menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap peluang terjadinya korosi. Semakin tinggi mutu beton maka semakin kecil peluang terjadinya korosi. Beton mutu tinggi memiliki *resistivity* yang tinggi, sehingga lebih sulit untuk dialiri listrik selama proses ICCP. Akan tetapi, hasil beda potensial spesimen beton $f_c' 40$ MPa menunjukkan hasil yang paling positif dibandingkan $f_c' 20$ MPa dan $f_c' 30$ MPa, sehingga peluang terjadinya korosi paling kecil.

KATA KUNCI: korosi, *carbon fiber reinforced polymer*, *impressed current cathodic protection*, mutu beton

1. PENDAHULUAN

Struktur bangunan pada umumnya menggunakan beton bertulang. Akan tetapi, baja tulangan rentan terhadap korosi, bukan hanya pada tempat yang dekat dengan laut, tetapi juga pada semua tempat yang dibiarkan dipengaruhi lingkungan luar (Ngudiyono, 2018). Salah satu cara untuk melindungi baja tulangan dari korosi yaitu dengan metode *Cathodic Protection*. Terdapat dua sistem *Cathodic Protection*, yaitu *Sacrificial Anode Cathodic Protection* (SACP) dan *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP) (Bashi, 2004). Pemilihan anoda yang akan digunakan pada ICCP sangatlah penting. Menurut Nguyen, Mangat, Lambert, O'Flaherty, dan Jones (2014), *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP) merupakan bahan yang cocok untuk digunakan sebagai anoda pada ICCP karena dapat menghantarkan listrik. Selain itu, CFRP juga banyak digunakan sebagai material untuk memperkuat struktur bangunan. Penelitian ini akan berfokus meneliti pengaruh mutu beton terhadap peluang terjadinya korosi selama proses ICCP.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Korosi

Secara umum, baja tulangan pada beton bertulang tidak akan terkorosi dikarenakan selimut beton merupakan lingkungan dengan kadar alkalinitas yang tinggi (memiliki pH 11-13) (Broomfield, 2006). Sifat alkali beton terbentuk ketika terjadi pencampuran semen dan air sehingga Ca(OH)_2 dari semen melepas ion

¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, m21415026@john.petra.ac.id

² Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, m21415029@john.petra.ac.id

³ Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, danieljtj@petra.ac.id

⁴ Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, gunawanbw@petra.ac.id

OH⁻. Ion-ion tersebut membawa sifat alkali dari beton dan menempel pada permukaan baja tulangan sehingga terbentuk lapisan pasif Fe(OH)₂ yang akan melindungi baja tulangan dari korosi (Maryoto, 2014). Proses karbonasi (*carbonation*) dan masuknya ion-ion klorida (Cl⁻) ke dalam beton adalah dua faktor utama yang menyebabkan rusaknya lapisan pasif tersebut dan berlanjut pada terjadinya korosi tulangan di dalam beton (Broomfield, 2006).

2.2. Impressed Current Cathodic Protection

Impressed Current Cathodic Protection (ICCP) merupakan metode perlindungan katodik untuk mengendalikan korosi pada permukaan logam. ICCP menggunakan arus searah/*direct current* (DC) dari sebuah *power supply*. *Power supply* digunakan sebagai sumber listrik untuk menghasilkan beda potensial yang lebih besar, sehingga laju arus yang dihasilkan cukup untuk melindungi sebuah struktur. ICCP bekerja dengan cara menghubungkan logam anoda ke kutub negatif dan elektroda acuan ke kutub positif. Keduanya ditempatkan pada lingkungan yang membentuk sel elektrolit dan logam yang akan dilindungi berfungsi sebagai katoda (Bu & Ao, 2017).

2.3. Half Cell Potential Test

Half cell potential test merupakan metode yang bisa digunakan untuk mengukur beda potensial antara baja tulangan dengan elektroda acuan. Nilai beda potensial tersebut menunjukkan peluang terjadinya korosi pada baja tulangan. Hubungan antara nilai beda potensial dengan peluang terjadinya korosi dapat dilihat pada **Tabel 1**. Elektroda acuan yang umum digunakan adalah *copper/copper sulfate electrode* (Cu/CuSO₄) atau *silver/silver chloride electrode* (Ag/AgCl) (Vassie, 1978). Perbedaan tipe elektroda acuan yang digunakan akan mengakibatkan perbedaan nilai potensial permukaan. Koreksi terhadap hasil pembacaan yang sesuai dengan elektroda acuan diperlukan selama melakukan interpretasi terhadap hasil pemeriksaan. Konversi hasil pembacaan *half cell potential test* antar elektroda acuan dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 1. Hubungan antara Nilai Potensial dengan Korosi (Berdasarkan ASTM C876)

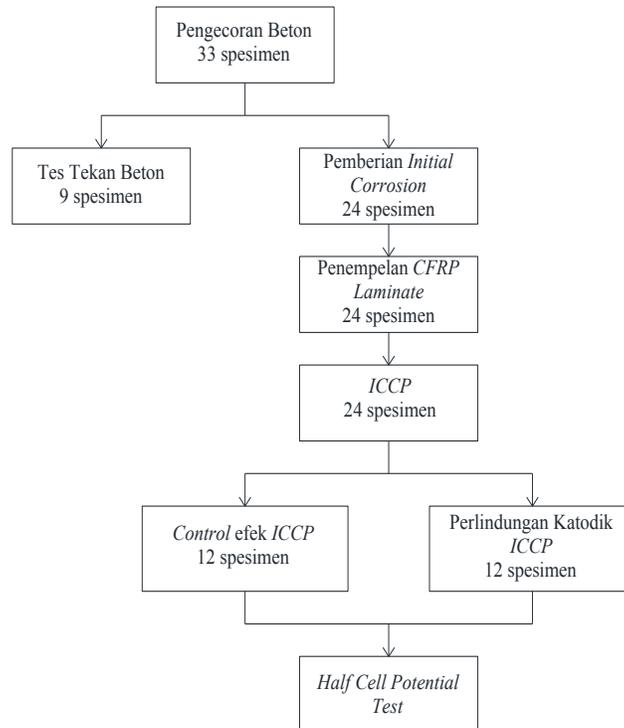
Nilai Pembacaan Potensial (mV) terhadap Elektroda Acuan (Tembaga Sulfat-CuSO ₄)	Peluang Terjadinya Korosi (%)
< -350	90
-200 s.d -350	50
> -200	10

Tabel 2. Tabel Konversi Nilai Beda Potensial antara Elektroda Acuan (Park, 2009)

Konversi ke	Copper/ Copper Sulfate (Cu/CuSO ₄)	Silver/ Silver Chloride (Ag/AgCl)
Menggunakan		
Copper/Copper Sulfate (Cu/CuSO ₄)		+66 mV
Silver/Silver Chloride (Ag/AgCl)	-66 mV	

3. METODE PENELITIAN

Proses Penelitian yang dilakukan ditunjukkan oleh *flowchart* pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Flowchart Metode Penelitian

3.1. Pengecoran Spesimen Beton Bertulang

Spesimen beton kubus $150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$ dicor dan baja tulangan dengan diameter 10 mm ditanamkan di tengah penampang beton dengan jarak 20 mm dari bagian bawah permukaan benda uji. Spesimen beton yang digunakan memiliki variasi mutu yaitu $f_c' 20 \text{ MPa}$, $f_c' 30 \text{ MPa}$, dan $f_c' 40 \text{ MPa}$. Baja tulangan yang digunakan adalah baja tulangan polos dengan tegangan (f_y) 240 MPa dengan panjang 250 mm. Pita perekat *polytetrafluoroethylene* atau *teflon wrap* direkatkan pada bagian bawah baja tulangan dan bagian atas baja tulangan yang berbatasan dengan beton. *Teflon wrap* berfungsi melindungi baja tulangan sehingga bagian tengah tulangan sepanjang 100 mm yang terbenam dalam beton yang akan mengalami korosi terlebih dahulu. Selanjutnya, dilakukan *curing* selama 28 hari pada beton bertulang.

3.2. Tes Tekan Beton

Untuk membuktikan mutu betonnya, maka 9 spesimen tanpa tulangan diuji dengan menggunakan alat tes tekan beton pada usia 28 hari. 9 spesimen tersebut terdiri dari masing-masing 3 spesimen untuk beton $f_c' 20 \text{ MPa}$, $f_c' 30 \text{ MPa}$, dan $f_c' 40 \text{ MPa}$.

3.3. Pemberian *Initial Corrosion*

Spesimen beton bertulang yang sudah berumur 28 hari akan diberikan korosi dengan menggunakan metode pemberian arus anodik ke baja tulangan. Spesimen direndam ke dalam wadah yang mengandung larutan NaCl 5%. Batang *stainless steel* diletakkan ke dalam larutan dan bertindak sebagai katoda. *Direct current* (DC) *power supply* digunakan untuk memberikan aliran anodik ke tulangan. Kutub positif dihubungkan ke

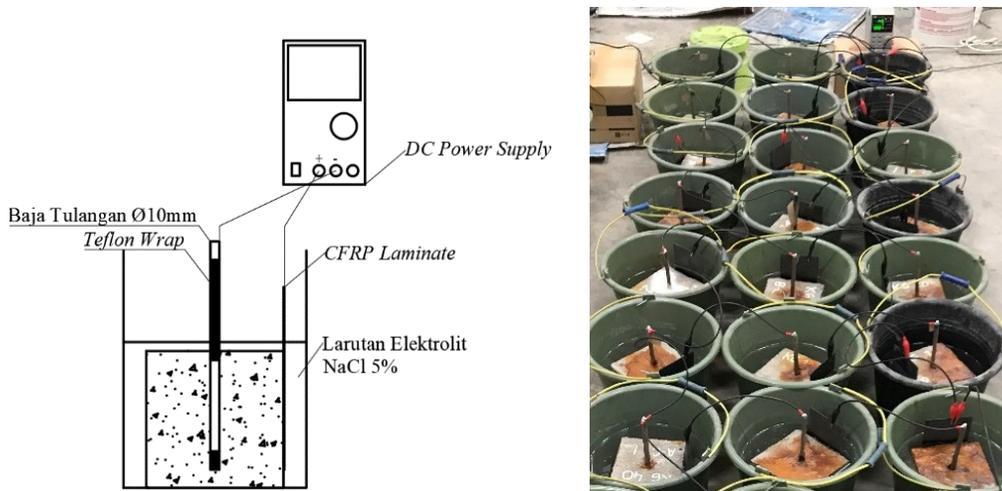
tulangan yang bertindak sebagai anoda dan kutub negatif dihubungkan ke batang *stainless steel* yang akan bertindak sebagai katoda.

3.4. Penempelan CFRP Laminate pada Spesimen Beton Bertulang

Penempelan CFRP *laminate* dilakukan setelah spesimen beton bertulang yang telah mencapai level *initial corrosion* yang direncanakan telah dikeringkan terlebih dahulu. Lebar CFRP *laminate* yang digunakan adalah 100 mm dengan ketebalan 1,2 mm. CFRP *laminate* terlebih dahulu ditutupi dengan *teflon wrap* untuk mencegah aliran listrik selama proses ICCP merambat melalui larutan NaCl ke dalam beton. CFRP *laminate* kemudian dipasang ke permukaan spesimen beton bertulang dengan *epoxy* yang sudah dicampur bubuk grafit 15%.

3.5. Proses ICCP dengan CFRP Laminate sebagai Anoda

Spesimen yang telah dipasang CFRP *laminate* direndam ke dalam larutan NaCl 5% selama 30 hari untuk mensimulasikan lingkungan korosif. Selama masa perendaman, proses ICCP terhadap spesimen dengan CFRP *laminate* sebagai anoda dilakukan. BSEN 12696 menyarankan densitas arus ICCP sebesar 2-20 mA/m² (BSEN 12696, 2012). Pada penelitian ini digunakan arus DC dengan densitas arus sebesar 20 mA/m². Kutub positif dihubungkan ke CFRP *laminate* sehingga bertindak sebagai anoda dan kutub negatif dihubungkan ke baja tulangan sehingga bertindak sebagai katoda. Skema kerja ICCP dengan menggunakan CFRP *laminate* sebagai anoda dapat dilihat pada **Gambar 2**.



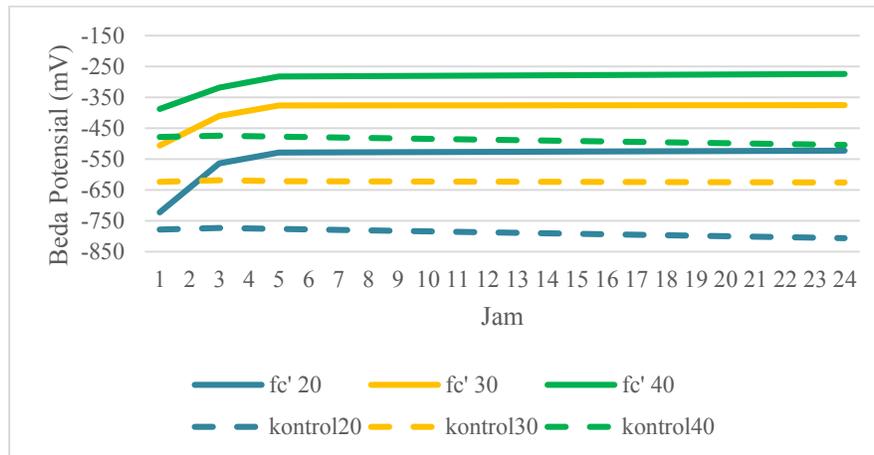
Gambar 2. Skema Kerja ICCP

3.6. Monitoring Korosi dengan Half Cell Potential Test

Selama perendaman spesimen di dalam larutan NaCl 5%, dilakukan *half test potential test* pada semua spesimen. *Half cell potential* tulangan diukur sesuai dengan ASTM C876 menggunakan referensi elektroda acuan *Silver/Silver Chloride* (Ag/AgCl). Pengukuran *half cell potential test* pada semua spesimen dilakukan setiap enam hari selama masa perendaman. Pengamatan dilakukan pada 1, 3, 5, dan 24 jam setelah arus listrik dimatikan untuk memastikan depolarisasi yang sempurna pada tulangan. Hasil pembacaan dari test *half cell potential* berupa beda potensial antara baja tulangan dengan elektroda acuan *Silver/Silver Chloride* (Ag/AgCl). Untuk dapat menggunakan tabel pada ASTM C876, nilai beda potensial tersebut harus dikonversikan ke referensi elektroda acuan *Copper/Copper Sulfate* (Cu/CuSO₄) dengan cara mengurangi hasil sebesar 66 mV.

4. HASIL DAN ANALISIS

Pengukuran *half cell potential test* dilakukan setiap 1, 3, 5 dan 24 jam setelah arus polarisasi dimatikan dan dilakukan setiap 6 hari selama 30 hari. Pengukuran pada waktu 24 jam setelah arus dimatikan bertujuan untuk memberi kesempatan bagi spesimen untuk mengalami depolarisasi sehingga beda potensial yang diukur relatif stabil dan tidak terpengaruh oleh pemberian arus polarisasi. Hasil potensial pada waktu sesaat setelah listrik dimatikan diamati lebih negatif daripada hasil potensial pada waktu spesimen telah mengalami depolarisasi. Selanjutnya, dilakukan juga pengamatan perubahan potensial akibat proses depolarisasi yang terjadi pada spesimen dan dibandingkan dengan spesimen yang tidak diberikan polarisasi. **Gambar 3** menunjukkan grafik perubahan potensial saat spesimen mengalami depolarisasi.



Gambar 3. Perubahan Potensial Spesimen saat Depolarisasi

Pada **Gambar 3** didapatkan kesimpulan bahwa spesimen yang diberikan arus polarisasi mengalami perubahan beda potensial menjadi lebih positif, sedangkan spesimen yang tidak diberikan arus polarisasi memiliki beda potensial yang relatif stabil. Selain itu, semakin tinggi mutu beton, maka semakin kecil perubahan beda potensialnya. Spesimen dengan mutu beton $f_c' 40$ MPa memiliki perubahan beda potensial yang paling kecil dibandingkan $f_c' 20$ MPa dan $f_c' 30$ MPa, yaitu sebesar 113 mV, sedangkan spesimen dengan mutu beton $f_c' 20$ MPa memiliki perubahan beda potensial yang paling besar, yaitu sebesar 205 mV. Hal ini terjadi karena spesimen beton $f_c' 40$ MPa memiliki *resistivity* yang paling tinggi dibandingkan *resistivity* beton $f_c' 20$ MPa dan $f_c' 30$ MPa, sehingga spesimen beton $f_c' 40$ MPa lebih susah untuk dialiri listrik selama proses ICCP.

Selain mengamati perubahan beda potensial akibat proses depolarisasi, pengamatan juga dilakukan untuk mengetahui perubahan beda potensial semua spesimen selama proses ICCP. Spesimen yang diamati merupakan spesimen kontrol dan benda uji. Hasil pengamatan dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Perubahan Beda Potensial Selama 30 Hari

f_c' (MPa)	Keterangan	Beda Potensial (mV)			Perubahan
		Hari ke-0	Hari ke-30		
20	KONTROL	-801	-812	-11	Max = 271
	BENDA UJI	-801	-530	271	
30	KONTROL	-647	-650	-3	Max = 230
	BENDA UJI	-647	-417	230	
40	KONTROL	-491	-507	-16	Max = 192
	BENDA UJI	-491	-299	192	

Dari hasil perubahan beda potensial yang diamati pada **Tabel 3**, dapat disimpulkan bahwa beda potensial listrik spesimen yang diberi perlindungan ICCP selama 30 hari akan semakin positif, sedangkan spesimen kontrol yang tidak dilindungi oleh ICCP menunjukkan beda potensial listrik yang semakin negatif. Mutu beton memiliki pengaruh signifikan terhadap perubahan beda potensial listrik. Perubahan beda potensial listrik yang paling besar terjadi pada spesimen beton $f_c' 20$ MPa, yaitu sebesar 271 mV dan perubahan beda potensial listrik yang paling kecil terjadi pada spesimen beton $f_c' 40$ MPa, yaitu sebesar 192 mV. Hal ini disebabkan karena semakin rendah mutu beton, maka *resistivity* beton semakin rendah, sehingga beton tersebut lebih mudah untuk dialiri listrik. Akan tetapi, hasil beda potensial spesimen beton $f_c' 40$ MPa menunjukkan hasil yang paling positif dibandingkan $f_c' 20$ MPa dan $f_c' 30$ MPa, sehingga peluang terjadinya korosi paling kecil. Sedangkan hasil pengukuran beda potensial spesimen beton $f_c' 20$ MPa menunjukkan hasil yang paling negatif, sehingga peluang terjadinya korosi paling besar.

5. KESIMPULAN

Variasi mutu beton mempengaruhi peluang terjadinya korosi. Semakin tinggi mutu beton, maka semakin kecil peluang terjadinya korosi. Beton mutu tinggi memiliki *resistivity* yang tinggi, sehingga lebih sulit untuk dialiri listrik selama proses ICCP. Akan tetapi, hasil beda potensial spesimen beton $f_c' 40$ MPa menunjukkan hasil yang paling positif dibandingkan $f_c' 20$ MPa dan $f_c' 30$ MPa, sehingga peluang terjadinya korosi paling kecil. Sedangkan hasil pengukuran beda potensial spesimen beton $f_c' 20$ MPa menunjukkan hasil yang paling negatif, sehingga peluang terjadinya korosi paling besar.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

CFRP dan *epoxy* pada penelitian ini disediakan dari PT. Sika Indonesia. CFRP yang digunakan adalah Sika[®] Carbodur[®]. *Epoxy* yang digunakan adalah Sikadur[®]-30. Penulis berterima kasih atas kontribusi PT. Sika Indonesia dalam penelitian ini.

7. DAFTAR REFERENSI

- ASTM C 876-09. (2015). *Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete*. West Conshohocken, Pennsylvania, United States of America: ASTM International.
- Bashi, S. M. (2004). Cathodic Protection System. *National Power and Energy Conference*. doi:10.1109/PECON.2003.1437476
- Broomfield, J. P. (2006). *Corrosion of Steel in Concrete: Understanding, Investigation and Repair*. London.
- BSEN 12696. (2012). *Cathodic Protection of Steel in Concrete British Standards Institution*. London: British Standards Institution.
- Bu, Y., & Ao, J. (2017). A Review on Photoelectrochemical Cathodic Protection Semiconductor Thin Films for Metals. *Green Energy and Environment*, 2(4), 331–362. doi:10.1016/j.gee.2017.02.003
- Maryoto, A. (2014). Penurunan Nilai Half Cell Potential Beton dengan Bahan Tambah Fly Ash dan Ca (C18H35O2)₂. *Dinamika Rekayasa*. 10(2), 45–49.
- Ngudiyono. (2018). Pengaruh Korosi Tulangan Baja Terhadap Kuat Lekat Beton Bertulang. *Jurnal Teknik Rekayasa*. 12(1).
- Nguyen, C. V, Mangat, P. S., Lambert, P., O'Flaherty, F., & Jones, G. (2014). *Dual Function Carbon Fibre Reinforced Anode System for Concrete Structures*. London.
- Park, R. M. (2009). A Guide to A Understanding Reference Electrode Readings. *Materials Performance*.
- Vassie, R.P.W. (1978), *Evaluation of Techniques for Investigating the Corrosion of Steel in Concrete*. London.