

Pengaruh Kebocoran Arus akibat Sentuh Rebar Chamber pada Pipa yang Diproteksi Katodik terhadap Kebutuhan Arus ICCP

Firda Puspitasari^{1*}, Moh. Miftachul Munir², Fipka Bisono³

Program Studi D-IV Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia¹

Program Studi D-IV Teknik Pengelasan, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia²

Program Studi D-IV Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia³

Email: firdapuspitasari.fp@gmail.com^{1*}; mas.munir@gmail.com^{2*}; fipka@ppns.ac.id^{3*}

Abstract - North perimeter pipeline and secondary apron terminal 3 of Soekarno-Hatta airport project is a project of construction of PT. Pertamina (Persero) aviation pipeline undertaken PT. Wijaya Karya (Persero) Tbk, as contractor. Project scope comprises installation of 20" underground pipe from DPPU- terminal 3 along 17.25m and installation of underground pipes in aircraft parking area consisting of 20" and 8" pipes. The purpose of this project to meet needs of refueling aircraft at terminal 3 airport Soekarno-Hatta. Appropriate protection for corrosion rate prevention is necessary to support performance of pipeline. Company considers replacing all SACP protections into ICCP to avoid undesirable risks that will affect pipeline of the company. Final project is designed to provide results related to leakage cathodic protection currents, including addition of surface area to be protected, comparison of ICCP systems before and after occurrence of leakage current, and how impact on potential of existing pipes. The result this research show that the problem of leakage current, in surface area of pipe, valve chamber, casing pipe, rebar valve chamber to be protected by ICCP to 37.549,358 m², current needed to protect 938,734 ampere, requires anode as 169 pieces anode, and required output voltage of transformer rectifier 19130,695 volts.

Keyword: Cathodic Protection, Corrosion, ICCP, Pipeline, Valve Chamber

1. PENDAHULUAN

Proyek Pipanisasi Perimeter Utara dan Secondary Apron Terminal 3 Bandara Soekarno-Hatta adalah proyek pembangunan jalur pipa avtur PT. Pertamina (Persero) yang dikerjakan oleh PT. Wijaya Karya (Persero) Tbk, selaku kontraktor. Lingkup proyek terdiri dari instalasi pipa bawah tanah berdiameter 20 inch dari DPPU menuju terminal 3 sepanjang 4 km dan instalasi pipa bawah tanah pada area parkir pesawat yang terdiri dari pipa berdiameter 20 inch dan 8 inch. Tujuan dibangunnya proyek ini adalah untuk memenuhi kebutuhan pengisian bahan bakar pesawat udara pada terminal 3 bandara soekarno-hatta.

Setelah dilakukan pemasangan *Temporary Sacrificial Anode Cathodic Protection* (SACP) System untuk fase konstruksi didapatkan suatu masalah yaitu *Temporary Sacrificial Anode Cathodic Protection* (SACP) System mengalami kehilangan potensial proteksi saat diukur menggunakan *reference cell* Cu/CuSO₄ dan setelah didiskusikan kembali oleh kontraktor dan owner telah didapatkan solusi yaitu dengan cara menghidupkan *Permanent Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP) System.

Proteksi katodik yang diharapkan mampu melindungi pipa pada kenyataannya ketika dilakukan pengukuran kembali tidak sesuai

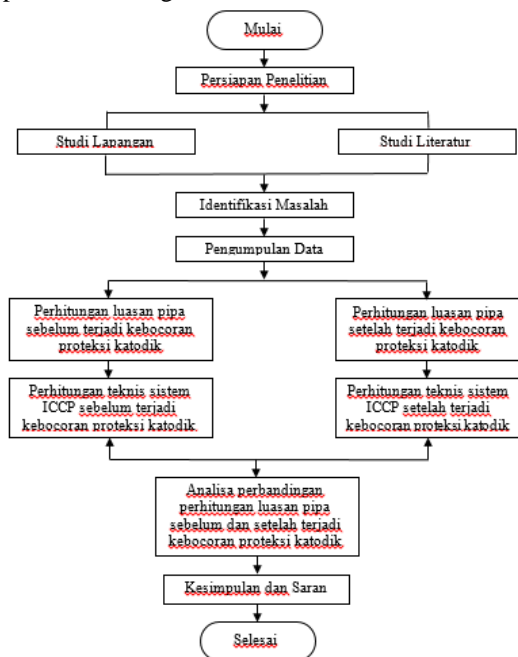
dengan hasil yang diharapkan. Ketika dilakukan pengukuran pada *test point* dengan menggunakan *reference cell* Cu/CuSO₄ didapatkan hasil pengukuran dengan nilai potensial proteksi dibawah -850 mV (batas kriteria potensial pipa) yang mana ICCP tidak mampu mengangkat potensial proteksi yang dipersyaratkan. Lalu dilakukan penambahan kapasitas potensial dan arus pada *transformator rectifier* (TR) juga tidak mampu menambah potensial pipa secara signifikan, sehingga diperlukan analisa yang lebih mendalam terkait adanya kemungkinan terjadi kebocoran arus proteksi katodik pada struktur yang pada dasarnya tidak ingin dilindungi (selain pipa). (NACE Standard RP-0169-02, 2007)[5] Tugas akhir ini disusun untuk memberikan analisa terkait kebocoran arus proteksi katodik, penambahan luas permukaan proteksi katodik yang berpengaruh terhadap perubahan desain sistem ICCP, perbandingan sistem ICCP sebelum dan setelah terjadi adanya kebocoran arus katodik dan hasil penambahan sistem ICCP dan dampaknya bagi potensial pipa yang ada.

2. METODOLOGI

2.1 Metode Penelitian

Dalam penyusunan dan penelitian tugas akhir ini diperlukan suatu urutan atau jadwal

pengerjaan yang dipakai sebagai acuan agar tugas akhir ini dapat tercapai tujuannya secara maksimal. Oleh karena ini penelitian merencanakan langkah-langkah penelitian yang sekiranya dapat memaksimalkan dalam pelaksanaan tugas akhir ini.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Perhitungan Teknis Proteksi Katodik ICCP Sebelum Terjadi Kebocoran Arus

Dalam membuat suatu desain proteksi ICCP, maka referensi yang digunakan adalah (NACE Standard RP-0169-02, 2007)[5] *Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping Systems*. Maka akan digunakan rumus-rumus berikut ini:

1. Perhitungan Luas Permukaan Pipa

$$S/A = \pi \times OD \times L \quad (3.1)$$

Dimana :

S/A = Luas permukaan, m²

π = 3,14

L = Panjang pipa, m

OD = Diameter luar pipa, m

$$S/A = \pi \times (20 \times 0.0254) \times 13.816 \\ = 22.049,356 \text{ m}^2$$

$$S/A = \pi \times (8.625 \times 0.0254) \times 3.441 \\ = 2.368,249 \text{ m}^2$$

2. Kebutuhan Arus

$$I = S/A \times DCD \quad (3.2)$$

Dimana :

I = Kebutuhan arus, Ampere

DCD = Desain kerapatan arus, mA/m²

$$I = 22.049,356 \times 0.1$$

$$= 2,2 \text{ m}^2$$

$$I = 2.368,249 \times 0.1$$

$$= 0,24 \text{ m}^2$$

Pada perhitungan kebutuhan arus keseluruhan untuk pipa (8”&20”) yang akan

proteksi pada *pipeline* jalur DPPU menuju Terminal 3 Bandara Soekarno-Hatta yaitu sebesar 2,44 A dan diberi faktor keamanan 125% sehingga kebutuhan arus ICCP yang akan diproteksi adalah 5,49 ampere.

$$3. \text{ Jumlah Anoda} \\ N = \frac{I}{I_a} \quad (3.3)$$

Dimana :

N = Jumlah anoda

I = Kebutuhan arus, Ampere

I_a = Keluaran arus anoda, Ampere

$$N \text{ min} = \frac{5,49 \text{ A}}{6,4}$$

$$= 0,858$$

$$= 1 \text{ buah}$$

$$N = 0,858 \times (1 + 0.15)$$

$$= 0,987$$

$$= 1 \text{ buah}$$

Berdasarkan jurnal milik Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA yang berjudul Desain Sistem Proteksi Arus Paksa (ICCP) untuk Pipa Air di Dalam Tanah. SF (*Safety Factor*) = 15 % umumnya digunakan pada perhitungan jumlah anoda untuk mengantisipasi terjadinya perubahan tahanan karena tahanan jenis tanah pada lokasi anoda *groundbed* juga mengalami perubahan karena pergantian musim. (Prof. Dr. Ir. Sulistijono. DEA, 2015)[6]

4. Tahanan Sirkuit

Tahanan *Groundbed*

$$R_v = \frac{\rho b}{2\pi L N} \left(\ln \frac{8L}{D} - 1 + \frac{2L}{s} (\ln 0.656N) \right) \quad (3.4)$$

Dimana :

R_v = Tahanan dari anode ke backfill, ohm

ρb = Resistivitas backfill, $\Omega \cdot \text{cm}$

L = Panjang anoda, m

D = Diameter anoda, m

S = Jarak antar anoda, m

N = Jumlah anoda

$$R_v = \frac{5000 \text{ ohm.cm}}{2\pi \times 1000 \text{ mm} \times 2} \left(\ln \frac{8 \times 1000 \text{ mm}}{25,4 \text{ mm}} - 1 + \frac{2 \times 1000 \text{ mm}}{1,5 \text{ m}} (\ln 0,656 \times 2) \right) \\ = 0.1891 \text{ ohm}$$

Perhitungan Tahanan *Active Groundbed*

$$R_g = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{8L}{D} - 1 \right) \quad (3.5)$$

Dimana :

R_g = Tahanan, *active groundbed* ke tanah

ρ = Resistivitas tanah, $\Omega \cdot \text{cm}$

L = Panjang *active groundbed*, m

D = Diameter *active groundbed*, m

$$R_g = \frac{5000 \text{ ohm.cm}}{2\pi \times 1000 \text{ mm}} \left(\ln \frac{8 \times 1000 \text{ mm}}{25,4 \text{ mm}} - 1 \right)$$

$$= 7,9261 \text{ ohm}$$

Ketahanan Kabel

Tahanan kabel dihitung berdasarkan tahanan dari pabrik pembuat kabel. Sistem ini memakai kabel ukuran 1x35 mm² dan 1x16 mm² dengan berbagai besaran panjang, tahanan kabel keseluruhan (positif dan negatif) adalah 0.12399 Ω.

5. *Transformer Rectifier* (TR)

$$V_{dc} = I \times R_t \times (1+Sf) + e \quad (3.6)$$

Dimana :

- V_{dc} = Tegangan *output* TR
 - I = Kebutuhan arus, Ampere
 - Sf = Faktor pengamatan TR, 25%
 - R_t = Tahanan total sirkuit, Ω
 - e = Voltase kembali, 2 volt
- $$V_{dc} = 5,49 \text{ A} \times 8.1517 \text{ ohm} \times (1+25\%) + 2 = 57,94 \text{ volt}$$

3.2 Perhitungan Teknis Proteksi Katodik ICCP Setelah Terjadi Kebocoran Arus

Dalam membuat suatu desain proteksi ICCP, maka referensi yang digunakan adalah (NACE Standard RP-0169-02, 2007)[5] *Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping Systems*. Maka akan digunakan rumus-rumus berikut ini:

1. Perhitungan Luas Permukaan Pipa

$$S/A = \pi \times OD \times L \quad (3.7)$$

Dimana :

- S/A = Luas permukaan, m²
- π = 3,14
- L = Panjang pipa, m
- OD = Diameter luar pipa, m
- S/A = π x (20 x 0.0254) x 13.816 = 22.049,356 m²
- S/A = π x (8.625 x 0.0254) x 3.441 = 2.368,249 m²

2. Perhitungan Luasan Permukaan *Valve Chamber*

$$S/A = 2 (pl + pt + lt) \quad (3.8)$$

Dimana:

- p = Panjang pipa, m
- l = Lebar pipa, m
- t = Tinggi pipa, m
- S/A = Luas permukaan, m²
- S/A VC 301-320 = 5.426,61 m²

3. Perhitungan Luasan Permukaan *Casing* Pipa

$$S/A = \pi \times OD \times L \quad (3.9)$$

Dimana :

- S/A = Luas permukaan, m²
- π = 3,14
- L = Panjang pipa, m
- OD = Diameter luar pipa, m
- S/A = π x (24 x 0.0254) x 86 = 164,7 m²

4. Perhitungan Luasan Permukaan *Rebar Valve Chamber*

$$S/A = ((2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times d^2) + (2 \times \pi \times r \times t)) \quad (3.10)$$

Dimana:

- S/A = Luas permukaan, m²

- π = 3,14
- d = Diameter *rebar*, m
- t = Panjang/tinggi *rebar*, m
- S/A VC 301-320 = 7.540,47 m²

5. Kebutuhan Arus

$$I = S/A \times DCD \quad (3.11)$$

Dimana :

- I = Kebutuhan arus, Ampere
- S/A = Luas permukaan, m²
- DCD = Desain kerapatan arus, mA/m²
- I = 37.714,09 x 20 = 750,99 A

Pada perhitungan kebutuhan arus keseluruhan untuk pipa (8”&20”) yang akan proteksi pada *pipeline* jalur DPPU menuju Terminal 3 Bandara Soekarno-Hatta yaitu sebesar 750,99 A dan diberikan faktor keamanan 125% sehingga kebutuhan arus ICCP yang akan diproteksi adalah 938,734 ampere.

6. Jumlah Anoda

$$N = \frac{I}{I_a} \quad (3.12)$$

Dimana :

- N = Jumlah anoda
- I = Kebutuhan arus, Ampere
- I_a = Keluaran arus anoda, Ampere
- $N \text{ min} = \frac{938,734 \text{ A}}{6,4} = 146,677 = 147 \text{ buah}$
- N = 146,677 x (1 + 0.15) = 168,679 = 169 buah

Berdasarkan jurnal milik Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA yang berjudul Desain Sistem Proteksi Arus Paksa (ICCP) untuk Pipa Air di Dalam Tanah. SF (*Safety Factor*) = 15 % umumnya digunakan pada perhitungan jumlah anoda untuk mengantisipasi terjadinya perubahan tahanan karena tahanan jenis tanah pada lokasi anoda *groundbed* juga mengalami perubahan karena pergantian musim. (Prof. Dr. Ir. Sulistijono. DEA, 2015)[6]

7. Tahanan Sirkuit

Tahanan *Groundbed*

$$R_v = \frac{\rho_b}{2\pi L N} \left(\ln \frac{8L}{D} - 1 + \frac{2L}{s} (\ln 0.656N) \right) \quad (3.13)$$

Dimana :

- R_v = Tahanan dari anode ke backfill, ohm
- ρ_b = Resistivitas backfill, Ω.cm
- L = Panjang anoda, m
- D = Diameter anoda, m
- S = Jarak antar anoda, m
- N = Jumlah anoda

$$R_v = \frac{5000 \text{ ohm.cm}}{2\pi \times 1000 \text{ mm} \times 2} \left(\ln \frac{8 \times 1000 \text{ mm}}{25,4 \text{ mm}} - 1 + \frac{2 \times 1000 \text{ mm}}{1,5 \text{ m}} (\ln 0,656 \times 2) \right)$$

$$= 0.1891 \text{ ohm}$$

Perhitungan Tahanan *Active Groundbed*

$$R_g = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{8L}{D} - 1 \right) \quad (3.14)$$

Dimana :

R_g = Tahanan, *active groundbed* ke tanah

ρ = Resistivitas tanah, $\Omega \cdot \text{cm}$

L = Panjang *active groundbed*, m

D = Diameter *active groundbed*, m

$$R_g = \frac{5000 \text{ ohm} \cdot \text{cm}}{2\pi \times 1000 \text{ mm}} \left(\ln \frac{8 \times 1000 \text{ mm}}{25,4 \text{ mm}} - 1 \right)$$

$$= 7,9261 \text{ ohm}$$

Ketahanan Kabel

Tahanan kabel dihitung berdasarkan tahanan dari pabrik pembuat kabel. Sistem ini memakai kabel ukuran 1x35 mm² dan 1x16 mm² dengan berbagai besaran panjang, tahanan kabel keseluruhan (positif dan negatif) adalah 0.12399 Ω .

8. *Transformer Rectifier* (TR)

$$V_{dc} = I \times R_t \times (1+S_f) + e \quad (3.15)$$

Dimana :

V_{dc} = Tegangan *output* TR

I = Kebutuhan arus, Ampere

S_f = Faktor pengamatan TR, 25%

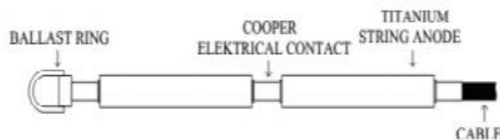
R_t = Tahanan total sirkuit, Ω

e = Voltase kembali, 2 volt

$$V_{dc} = 938,734 \text{ A} \times 8.1517 \text{ ohm} \times (1+25\%) + 2$$

$$= 19130,695 \text{ volt}$$

3.3 Penentuan Anoda Proteksi



Gambar 2. Anoda MMO

Anoda yang digunakan untuk system ICCP ini menggunakan material *Mixed Metal Oxide coated Titanium*. Kelebihan anoda MMO adalah mudah untuk diaplikasikan sebagai anoda proteksi pipa bawah tanah dan juga telah sering digunakan pada pipa *underground* menjadi pertimbangan penting untuk digunakan sebagai anoda proteksi ICCP.

3.4 Penentuan Anoda Proteksi

Dari hasil perhitungan kebutuhan teknis proteksi katodik sebelum terjadinya kebocoran arus ICCP menggunakan rumus dari sub bab 3.1 didapat hasil perhitungan luasan permukaan untuk pipa (8" & 20") *pipeline* jalur DPPU menuju Terminal 3 Bandara Soekarno-Hatta yang akan diproteksi yaitu sebesar 24.417,605 m². Dari mencari luas permukaan pipa, didapatkan

kebutuhan arus ICCP yang akan diproteksi adalah sebesar 5,49 Ampere. Kebutuhan arus total proteksi tersebut digunakan untuk memproteksi jalur dengan jarak 17,257 km. Setelah kebutuhan arus didapatkan, digunakan untuk menghitung jumlah anoda yang dibutuhkan, yaitu sebanyak 1 buah anoda. Tahap selanjutnya mencari tahanan *groundbed*, yang mana terdapat dua perhitungan yang satu untuk tahanan anoda dan satu lagi untuk tahanan *active groundbed*, yang mana akan dijumlah dan menghasilkan tahanan *groundbed* sebesar 8,0278 ohm. Setelah itu mencari tahanan kabel, tahanan kebel dihitung berdasarkan data tahanan pabrik pembuat kabel. Sistem ini memakai kabel berukuran 1x35 mm dan 1x16 mm, tahanan kabel keseluruhan (positif dan negatif) adalah 0,1239 ohm. Tahanan sirkuit merupakan perpaduan antara tahanan *groundbed* dan tahanan kabel, dan didapatkan hasil tahanan sirkuit sebesar 8,1517 ohm. Dan yang terakhir mencari tegangan output yang dikeluarkan oleh alat yang bernama *Transformer Rectifier*, yang didapat sebesar 57,94 volt.

Sedangkan perhitungan teknis proteksi katodik setelah terjadinya kebocoran arus ICCP menggunakan rumus dari sub bab 3.2 didapat hasil perhitungan luasan permukaan untuk pipa (8" & 20") *pipeline* jalur DPPU menuju Terminal 3 Bandara Soekarno-Hatta yang akan diproteksi yaitu sebesar 24.417,605 m². Dikarenakan terdapat kebocoran arus proteksi ICCP maka dicari solusi, yaitu dengan cara menghitung luas permukaan *valve chamber*, luas permukaan *casing* pipa, dan *rebar valve chamber*. Dan didapat hasil perhitungan dari luas permukaan *valve chamber* sebesar 5.426,61 m². Lalu hasil perhitungan dari luas permukaan *casing* pipa sebesar 164,7 m². Juga hasil perhitungan dari luas permukaan *rebar valve chamber* sebesar 7.540,47 m². Maka total luas permukaan yang akan di proteksi katodik sebesar 37.549,385 m². Dari mencari luas permukaan tersebut, didapatkan kebutuhan arus ICCP yang akan diproteksi adalah sebesar 938,734 Ampere. Kebutuhan arus total proteksi tersebut digunakan untuk memproteksi jalur dengan jarak 17,257 km. Setelah kebutuhan arus didapatkan, digunakan untuk menghitung jumlah anoda yang dibutuhkan, yaitu sebanyak 169 buah anoda. Tahap selanjutnya mencari tahanan *groundbed*, yang mana terdapat dua perhitungan yang satu untuk tahanan anoda dan satu lagi untuk tahanan *active groundbed*, yang mana akan dijumlah dan menghasilkan tahanan *groundbed* sebesar 8,0278 ohm. Setelah itu mencari tahanan kabel, tahanan kebel dihitung berdasarkan data tahanan pabrik pembuat kabel. Sistem ini memakai kabel berukuran 1x35 mm dan 1x16 mm, tahanan kabel keseluruhan (positif dan negatif) adalah 0,1239 ohm. Tahanan sirkuit merupakan perpaduan antara tahanan *groundbed*

dan tahanan kabel, dan didapatkan hasil tahanan sirkuit sebesar 8,1517 ohm. Dan yang terakhir mencari tegangan output yang dikeluarkan oleh alat yang bernama *Transformer Rectifier*, yang didapat sebesar 19.130,695 volt.

3.5 Perhitungan Minimal Thickness Carbon Steel API 5L Grade B

$$S = F \times E \times Sy \quad (3.16)$$

Dimana :

- S = *Applicable allowable stress value*, psi
 F = *design factor based on nominal wall thickness* (ASME B31.4, 2016)[4]
 E = *weld joint factor, as specified Table 403.2.1-1* (ASME B31.4, 2016)[4]
 Sy = *Specified minimum yield strength of the pipe*, psi (API 5L, 2009)[3]

$$S = 0,72 \times 1 \times 35000 \text{ psi} \\ = 25200 \text{ psi}$$

$$t = \frac{P_i \cdot D}{2S} \quad (3.17)$$

Dimana:

- t = *Minimum wall thickness*, mm
 Pi = *Internal design gage pressure*, psi
 D = *Outside diameter of pipe*, inch (API 574, 1998)[2]
 S = *Applicable allowable stress value*, psi
 $t = \frac{195,80 \text{ psi} \times 20 \text{ inch}}{2 \times 25200 \text{ psi}}$
 = 0,078 inch
 = 1,973 mm

3.6 Perhitungan Laju Korosi

$$CR = \frac{K \cdot W}{A \cdot T \cdot D} \quad (3.18)$$

Dimana:

- CR = *Corrosion rate*, mm/year
 K = Konstanta (ASTM G1-90)
 W = Massa yang hilang, gram
 A = Luas permukaan, cm²
 T = Waktu Pengujian, jam
 D = *Densities for a variety of metals and alloys* (G1 – Tabel X1.1)

$$CR = \frac{87600 \cdot 0,0160}{32,8993 \cdot 48 \cdot 7,86} \\ = 0,1129 \text{ mm/year}$$

$$CR \text{ rata - rata} = \frac{CS1 + CS2 + CS3}{3} \quad (3.19)$$

Dimana:

- CR = *Corrosion rate rata-rata*, mm/year
 CS1 = Spesimen *carbon steel* 1
 CS2 = Spesimen *carbon steel* 2
 CS3 = Spesimen *carbon steel* 3
 $CR \text{ rata-rata} = \frac{0,5008 + 0,5001 + 0,1143}{3}$

$$= 0,1142 \text{ mm/year}$$

3.6 Perhitungan Lifetime

$$Lifetime = \frac{t_{acc} - t_m}{CR} \quad (3.20)$$

Dimana:

Lifetime = Umur pipa, year (API 570, 2016)[1]

t_{acc} = *Thickness of pipe*, mm ((API 574, 1998)[2] – Tabel 1)

t_m = *Minimum wall thickness*, mm

CR = *corrosion rate rata-rata*, mm/year

$$Lifetime = \frac{9,27 - 8,1265}{0,1142} \\ = 10,0115 \text{ years}$$

4. KESIMPULAN

Dari keseluruhan rangkaian penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari permasalahan kebocoran arus proteksi ICCP yang telah dianalisa, didapatkan hasil perhitungan pada luasan permukaan untuk pipa yang akan diproteksi yaitu sebesar 24.417,605 m², *valve chamber* sebesar 5.426,61 m², *casing* pipa sebesar 164,7 m², *rebar valve chamber* sebesar 7.540,47 m². Maka total penambahan luas permukaan yang akan di proteksi katodik sebesar 37.549,358 m².
2. Perbandingan ini didapat perhitungan luasan permukaan pipa sebelum kebocoran 24.417,605 m² sedangkan setelah kebocoran 37.549,358 m². Kebutuhan arus ICCP sebelum kebocoran yang diproteksi 5,49 ampere sedangkan perhitungan setelah kebocoran 938,734 ampere. Jumlah anoda sebelum kebocoran dibutuhkan 1 anoda sedangkan setelah kebocoran dibutuhkan 169 buah anoda. Tegangan output yang dikeluarkan oleh *transformer rectifier* sebelum kebocoran didapat 57,94 volt sedangkan setelah terjadinya kebocoran didapat sebesar 19130,695 volt.
3. Kebocoran arus proteksi pada pipa yang diakibatkan sentuh *rebar chamber* sangat mempengaruhi/berdampak terhadap kebutuhan teknis metode proteksi katodik ICCP. Semakin bertambahnya arus yang dibutuhkan maka semakin banyak anoda yang dibutuhkan dan semakin besar pula nilai tegangan DC yang dibutuhkan *Transformator Rectifier* untuk memproteksi pipa.

5. UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak yang telah membantu dalam pembuatan penelitian ini. Pihak yang dimaksud adalah:

1. Kedua orang tua dan keluarga yang telah memberikan dukungan materi, motivasi,

kasih sayang, do'a, dan nasehat hidup bagi penulis.

2. Bapak Moh. Miftachul Munir, selaku dosen pembimbing I yang selalu memberi pengarahan dan bimbingan selama pengerjaan jurnal tugas akhir.
3. Bapak Fipka Bisono, selaku dosen pembimbing II yang selalu memberi pengarahan dan bimbingan selama pengerjaan jurnal tugas akhir.
4. Keluarga besar program studi Teknik Perpipaan, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] API 570. (2016). *Piping Inspection Code: In Service Inspection, Rating, Repair, and Alteration of Piping System*. Washington DC: American Petroleum Institute.
- [2] API 574. (1998). *Inspection Practices for Piping System Components*. Washington: American Petroleum Institute.
- [3] API 5L. (2009). *Specification for Line Pipe*. Washington: American Petroleum Institute.
- [4] ASME B31.4. (2016). *Pipeline Transportation System for Liquid and Slurries*. New York: The American Society of Mechanical Engineers.
- [5] NACE Standard RP-0169-02. (2007). *Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping System*. Houston, Texas: NACE International.
- [6] Prof. Dr. Ir. Sulistijono. DEA. (2015). *Desain Sistem Proteksi Arus Paksa (ICCP) untuk Pipa Air di Dalam Tanah*. T. *Material & Metalurgi FTI-ITS*, www.academia.edu/.