

Analisis Perbandingan Ekonomis Pengendalian Korosi Dengan Menggunakan Metode ICCP (Impressed Current Cathodic Protection) dan SACP (Sacrificial Anode Cathodic Protection) Pada Proyek Pipeline Gas Transmisi Gresik-Semarang

Wijayanti Eka Yulianto^{1*}, Subagio Soim², Pranowo Sidi³

Program Studi D-IV Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia^{1*}

Program Studi D-III Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia²

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

Email: wijay24yulianto@gmail.com^{1*}; bagiosoim@gmail.com^{2*}; pransidi03@gmail.com^{3*};

Abstract – Corrosion is often occurred on Gresik-Semarang pipeline gas transmission project. The corrosion type is pitting or well corrosion. Pitting corrosion causes pipe cavitated. So, it becomes a disadvantageous material if there is no prevention. One method to prevent corrosion is by using protection cathodic system. The system is divided into two kinds, i.e ICCP (impressed current cathodic protection) and SACP (sacrificial anode cathodic protection) methods. The first step taken started with technical requirement continued with economical requirement. The result of both methods is then compared to find the influenced value of each method in corrosion control. The final result is ICCP method require 36 sets of TI MMO anodes, 300 m cable in length, negative as well as positive return, with economical cost of IDR 7,929,501,030. SACP method requires 4538 magnesium anodes and 144 test station boxes with economical cost of IDR 8,898,206,625. So it can be concluded that cathodic protection with ICCP method is chosen as the most efficient method to apply in Gresik-Semarang pipeline gas transmission project.

Keyword : cathodic protection, ICCP, pitting corrosion, pipeline, SACP.

Nomenclature

Rv	Anode resistance of ground
L	Long of backfill (feet)
d	Diameter of backfill (feet)
N	Jumlah yang dibutuhkan
Rc	Resistance of cable (ohm)
S	Spasi antar groundbed anoda (feet)
OD	Outside Diameter pipe (inch)
SF	Safety factor
Ip	Total current protection (ampere)
Bemf	Safety stress allowance

1. PENDAHULUAN

Proyek *pipeline* dalam dunia konstruksi sudah tidak asing lagi. *Pipeline* digunakan dalam memenuhi kebutuhan industri yang menggunakan bahan baku berupa fluida seperti gas dan lain lain untuk menyalurkan fluida dari satu tempat ke tempat yang lain. Proyek ini merupakan proyek EPC dengan memasang jalur pipa gas dari wilayah Gresik sampai Semarang. Pemasangan pipa gas dilakukan untuk memenuhi kebutuhan gas di wilayah Jawa Tengah. Tujuan utama dari proyek ini didedikasikan untuk membantu pertumbuhan industri di wilayah Jawa Tengah yang selama

ini tidak mendapatkan pasokan gas karena ketersediaan infrastruktur berpusat di Jawa bagian barat dan timur.

Objek utama dari proyek ini adalah pipa, dimana pipa ini akan diletakkan dibawah maupun diatas tanah untuk mengalirkan fluida yang mengalir. Sehingga hal ini sangat memungkinkan untuk pipa mengalami kontak langsung dengan lingkungan, yang lambat laun akan mengalami korosi. Jenis korosi yang paling banyak ditemui adalah jenis korosi sumuran (*pitting corrosion*). Tentu hal ini akan sangat merugikan secara material, apabila tidak segera dilakukan tindakan. Salah satu tindakan dalam menangani korosi adalah menggunakan proteksi katodik yang berupa metode ICCP yaitu *Impressed Current Cathodic Protection* dan juga metode SACP yaitu *Sacrificed Anoda Cathodic Protection*.

2. METODOLOGI .

Korosi adalah kerusakan atau degradasi logam akibat reaksi redoks antara suatu logam dengan berbagai zat di lingkungan yang menghasilkan senyawa-senyawa yang tidak dikehendaki. Korosi adalah reaksi kimia atau elektrokimia yang terjadi antara material logam

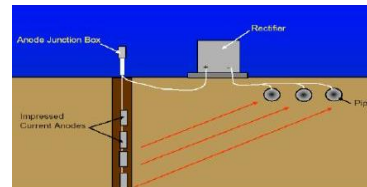
dengan lingkungannya yang mengakibatkan berkurangnya sifat kekuatan energi pada material logam tersebut. Korosi juga merupakan penurunan mutu logam akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungan. Korosi dapat terjadi karena hilangnya logam pada bagian yang terpengaruh terhadap lingkungan. Korosi terjadi dalam berbagai macam bentuk, yaitu mulai dari korosi merata pada seluruh permukaan logam sampai dengan korosi yang terkonsentrasi pada bagian tertentu saja. Untuk itu diperlukan proteksi untuk menghindari terjadinya di titik dimana arus kembali ke permukaan logam.

Faktor penyebab terjadinya korosi pada pipa adalah berdasarkan lingkungan dan kondisi tanah. Dimana laju korosi baja di tanah dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain konsentrasi elektrolit, konsentrasi oksigen, dan suhu tanah yang memiliki resistivitas tinggi tanpa terjadinya pertumbuhan bakteri akan memperlambat terjadinya korosi. Resistivitas tanah ini akan turun seiring bertambahnya air dan spesies ionic. Resistivitas tanah yang rendah mengindikasikan kecenderungan arus untuk mengalir menjadi sangat mudah. Resistivitas tanah yang tinggi memberikan resistansi yang tinggi terhadap arus untuk mengalir.

Berdasarkan bentuk dan tempat terjadinya, korosi terbagi dalam beberapa jenis antara lain : korosi merata (*uniform corrosion*), korosi sumuran (*pitting corrosion*), korosi antar butir, korosi erosi, korosi galvanik dan korosi celah dan masih banyak lainnya. 'Korosi yang terjadi pada *pipeline* adalah jenis korosi sumuran. Karena jaraknya yang saling berdekatan satu sama lain. Korosi sumuran akan mengakibatkan permukaan logam menjadi kasar'. (Fajri, 2014)

2.1 Metode *Impressed Current Cathodic Protection (ICCP)*

Impressed current adalah metode proteksi katodik yang menggunakan sumber daya listrik dari luar. Metode ini mempunyai laju konsumsi anoda yang rendah. Metode ini hanya dipakai pada kondisi lingkungan yang sangat korosif, sehingga memerlukan arus proteksi yang besar. Metode arus tanding adalah metode proteksi katodik dimana arus dari trafo penyearah dialirkan melalui anoda, arus yang keluar dari anoda ini kemudian melalui medium elektrolit tanah akan melindungi pipa dari korosi, arus ini akan kembali ke penyearah (*rectifier*) dan berulang terus menerus. Gambar 1 merupakan salah satu contoh instalasi proteksi katodik arus tanding. (B.Bushman)



Gambar 1. Instalasi Proteksi Katodik Arus Tanding
(www.corrosioncop.com/test-point-proteksi-katodik)

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi sistem ICCP adalah sebagai berikut,

2.1.1 Material Anoda

Anoda untuk ICCP tidak harus material yang kurang mulia dari struktur yang dilindungi. Material anoda biasanya terbuat dari material yang tahan korosi tinggi untuk membatasi laju konsumsi. Laju konsumsi anoda bergantung pada level kerapatan arus yang digunakan, dan juga lingkungan operasi. Material yang sering digunakan untuk anoda antara lain adalah *high silicon cast iron*, *mixed metal* anoda, platinum dan baja. Setiap anoda mempunyai kerapatan arus (*current density*) dan laju konsumsi (*consumption rate*) yang berbeda beda.

2.1.2 *Groundbed* dan Material *Backfill*

Istilah "*carbonaceous backfill*" digunakan untuk menjelaskan tentang *backfill* yang digunakan untuk melingkupi *groundbed* anoda. Ada material yang bisa digunakan untuk *backfill*, yaitu *coal coke breeze*, dan *natural/man made graphite particle*.

2.1.3 Trafo Rectifier (Trafo Penyearah)

Trafo penyearah merupakan sumber tegangan yang paling ekonomis dan *reliable* untuk proteksi katodik dengan metode *impressed current*. Trafo rectifier ini berpendingin *air cooled* atau *oil immersed cooled*. Elemen *rectifier* dilengkapi dengan *sensor over temperature device* yang akan memutuskan masukan arus AC dalam *cabinet rectifier* apabila temperaturnya mencapai nilai yang tidak aman.

2.1.4 Kabel

Untuk proteksi katodik, sering digunakan kabel yang diinsulasi oleh *polyethylene*, PVC, atau *polyethylene sheathed copper conductor* Tipe kabel yang sering digunakan antara lain adalah tipe kabel NAYY, NYY, dan NAYCW, **NYFGbY**. Parameter kabel tipe NYY dan NAYY, NAYC ditunjukkan pada tabel.

2.1.5 Resistansi *Groundbed* Anoda

Resistansi *Groundbed* Anoda dibedakan menjadi tiga jenis berdasarkan cara instalasinya yaitu :

- Resistansi *Single Vertical* Anoda yang dipasang secara *vertical*.

Untuk menghitung tahanan pada *single groundbed* anoda yang dipasang secara *vertical* menggunakan rumus *Dwight*. Rumus *Dwight* digunakan untuk menghitung nilai tahanan anoda *relative* terhadap tanah.

$$R_v = \frac{0.0521\rho}{NLS} (2.3 \log(\frac{8LS}{Ds}) - 1) \quad (1)$$

Dimana :

- Rv : resistansi anoda terhadap tanah
- ρ : tahanan jenis/ resistivitas *backfill* (ohm.cm)
- L : panjang *backfill* (feet)
- d : diameter *backfill* (feet)

- b. Resistansi *Multiple Vertical* anoda yang dipasang *vertical* dan paralel.

Untuk menghitung tahanan pada beberapa *groundbed* anoda yang dipasang secara *vertical* menggunakan rumus *Dwight*. Rumus *Dwight* digunakan untuk menghitung nilai tahanan anoda *relative* terhadap tanah:

$$R_v = \frac{0.0521\rho}{NLS} (2.3 \log(\frac{8LS}{Ds}) - 1 + \frac{2LS}{S} \times 2.3 \log(0.656N)) \quad (2)$$

Dimana :

- Rv : Resistansi anoda terhadap tanah
- ρ : Tahanan jenis/ resistivitas *backfill* (ohm.cm)
- L : Panjang *backfill* (feet)
- d : Diameter *backfill* (feet)
- N : Jumlah *groundbed* anoda yang diparalel
- S : Spasi antar *groundbed* anoda (feet)

- c. Resistansi *Multiple vertical* anoda yang dipasang horizontal dan paralel.

Untuk menghitung tahanan pada beberapa *groundbed* anoda yang dipasang secara horizontal menggunakan rumus *Dwight*. (Fajri, 2014). Rumus *Dwight* digunakan untuk menghitung tahanan anoda *relative* terhadap tanah, yaitu :

$$R_h = \frac{0.0521\rho}{NLS} (2.3 \log(\frac{4L+4L\sqrt{S+L}}{DsS}) + \frac{S}{L} - \frac{\sqrt{S+L}}{DsS} - 1) \quad (3)$$

Dimana :

- Rh : Resistansi anoda terhadap tanah (ohm)
- ρ : Tahanan jenis tanah (ohm.cm)
- L : Panjang kolom *backfill* (feet)
- d : Diameter kolom *backfill* (feet)
- N : Jumlah *groundbed* anoda yang diparalel
- S : Spasi antar *groundbed* anoda (feet)

2.1.6 Resistansi kabel DC

Kabel DC yang digunakan dalam proteksi katodik menimbulkan adanya resistansi yang berpengaruh terhadap besar kecilnya tegangan yang diperlukan untuk proteksi katodik. Besarnya resistansi kabel DC ini dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$R_c = \frac{Lc \times Re}{N \times C} \quad (4)$$

Dimana :

- Rc : Tahanan kabel (ohm)
- Lc : Panjang kabel (ohm)
- N : Jumlah kabel yang diparalel
- Re : Tahanan spesifik kabel (Ohm/m)
- C : Jumlah inti kabel

2.1.7 Tegangan Trafo Rectifier

Nilai tegangan DC total dari sumber tenaga untuk mencapai arus keluaran DC yang diperlukan pada sistem proteksi dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$V_{DC} = [(I_p \times R_t) \times (1+SF)] + B_{emf} \quad (2.5)$$

Dimana:

- V_{DC} : Tegangan keluaran DC yang diperlukan (volt)
- I_p : Arus total proteksi yang diperlukan (ampere)
- R_t : Tahanan total DC (ohm)
- B_{emf} : Tegangan keamanan yang diijinkan
- SF : Faktor keamanan yang diijinkan pada rectifier 20%

2.2. Metode Anoda Korban (*Sacrificial Anode*)

Proteksi katodik yang menggunakan metode anoda korban (*sacrificial anode*) merupakan aplikasi yang sederhana dari sel korosi logam. Ketika *pipeline* baja dihubungkan secara elektrik ke logam yang kurang mulia dalam deret Volta/ *electromotive force series* (EMF), dan keduanya berada pada sebuah elektrolit konduktif (seperti tanah), logam yang aktif akan terkorosi dan mengeluarkan arus dalam proses tersebut. Pipa yang terlapsi dengan baik akan memerlukan arus proteksi yang kecil.

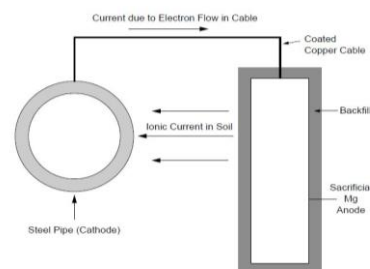


Figure 11.5 Principle of cathodic protection with sacrificial anodes (schematic).

Gambar 2. Prinsip Proteksi Katodik SACP (Handbook Of Corrosion Engineering, Pierre R.Roberge)

2.2.1 Material Anoda

Penggunaan anoda didasarkan pada kondisi lingkungan, dalam pemilihan anoda korban sebagai berikut, anoda korban Zn dipakai untuk lingkungan yang memiliki nilai resistivitas tanah (*onshore*) sebesar <1500 ohm.cm. Sementara untuk anoda korban Mg dipakai untuk lingkungan yang memiliki nilai resistivitas tanah (*onshore/offshore*) sebesar 1500 sampai 5000 ohm.cm, sedangkan Aluminium digunakan pada lingkungan offshore. (Fajri, 2014)

2.2.2 Material Backfill

Pada sistem SACP, anoda korban yang digunakan biasanya dibungkus dengan *backfill*. *Small anode* biasanya langsung terbungkus dengan *backfill*, sedangkan untuk anoda yang berukuran besar dipasang disaat instalasi dengan *loosebackfill*. *Backfill* dapat mencegah anoda kontak langsung dengan tanah dan mengurangi korosi lokal pada saat pemakaian. Kombinasi anoda dengan garam-garam yang terkandung dalam tanah tidak terjadi dan hal ini dapat mencegah pembentukan lapisan pasif pada permukaan anoda korban. Pengaruh *backfill* adalah mengurangi tahanan sirkuit juga mengurangi *potential loss* pada lingkungan. *Backfill* menarik tahanan campuran tanah dan mengurangi resistivitas tanah disekitar anoda.

2.2.3 Kapasitas Anoda

Anoda yang sering digunakan dalam SACP adalah Mg, Zn, dan Al. Magnesium dan Zinc sering digunakan untuk aplikasi tanah (*buried pipeline*). Pada umumnya magnesium sering digunakan pada tanah yang memiliki resistivitas lebih dari 1500 ohm.cm. Sedangkan aluminium dan zinc sering digunakan untuk aplikasi pada *offshore pipeline*.

2.2.4 Resistansi Anoda

Resistansi anoda digunakan untuk menghitung arus output dari anoda. Resistansi anoda dipengaruhi dimensi anoda (yang terdiri dari panjang anoda, diameter anoda), resistivitas tanah atau air. Perhitungan resistansi anoda disesuaikan dengan tipe anoda yang digunakan yang telah dirangkum pada tabel 2.1 berikut ini.

Tabel 1. Perhitungan tahanan anoda

Tipe Anoda	Formula Tahanan
Anoda Horizontal	$R_h = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{r} - 1 \right)$
Anoda Vertical	$R_h = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{8L}{r} - 1 \right)$
Anoda Plate L >= width L >= thickness	$R_v = \frac{\rho}{2S}$
Anoda Bracelet	$R_a = \frac{0.315\rho}{\sqrt{A}}$

Sumber: Rully, F., 2014

2.2.5 Anode Utilization Factor

Katoda anoda digunakan dalam jangka waktu tertentu, masa anoda tersebut akan berkurang, hal ini dipengaruhi oleh *factor* utilisasi anoda (u). Faktor utilisasi anoda kemungkinan sebesar 85 % yang berarti pada saat anoda telah terpakai 85%, maka harus diganti, karena terjadi keluaran yang dipakai untuk memproteksi struktur. Nilai anoda *utilization factor* bergantung terhadap bentuk anoda yang digunakan.

2.2.6 Keluaran Arus Anoda

Keluaran arus anoda terukir pada saat sebelum dilakukan pemasangan anoda pada struktur yang hendak diproteksi. Arus proteksi yang diberikan dari anoda harus lebih besar dari kebutuhan total arus selama waktu desain.

2.2.7 Coating Breakdown Factor

Coating breakdown factor (fc), nilai *breakdown factor* menjelaskan tentang adanya antisipasi terhadap adanya kerusakan coating yang melapisi pipa ketika fc=0, coating 99% di insulasi secara elektrik karena cacat coating tidak terjadi sama sekali, dalam prakteknya tidak pernah ditemukan. Ketika fc=1, coating tidak memiliki sifat mengurangi kerapatan arus katodik atau dapat dikatakan bahwa coating yang melindungi tidak bersifat sebagai insulator, atau *coating* tersebut terjadi kerusakan seluruhnya. *Coating breakdown factor* adalah fungsi dari sifat dan waktu. Persamaan untuk menghitung *coating breakdown* pada pipa offshore luas daerah dibawah grafik dari tiap kenaikan kerusakan *coating* (fi).

2.2.8 Coating Resistivity

Coating resistivity menjelaskan tentang kualitas suatu *coating* terhadap sifat tahanannya. *Coating resistivity* 220ias diartikan juga sebagai kebalikan dari *coating conductance*.

2.2.9 Design Current Density

Current density adalah arus proteksi katodik perluas permukaan (A/m²). *Design current density* yang digunakan untuk menghitung permintaan arus pada pipa diambil dari standar NACE SP 0607/ISO 15889 part 1.

2.3 Kriteria Proteksi

Untuk mengetahui apakah proteksi sudah cukup untuk struktur yang dilindungi, maka dilakukan pengukuran potensial diantara *pipeline* dan tanah. Potensial *pipeline* yang diberikan pada lokasi biasanya menunjuk pada potensial pipa ke tanah.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisa Teknis Hasil ICCP

Tabel 2. Analisa Teknis ICCP

Keterangan	Nilai
Perhitungan Luas Permukaan	Proteksi Katodik A adalah untuk wilayah GRE-Gresik = 22331.68 m ² Proteksi Katodik B, adalah untuk wilayah Gresik-Cepu=286962.088 m ² Proteksi Katodik C, adalah untuk wilayah Cepu-Semarang=286962.088 m ²
Coating Breakdown Factor	0.017
Perhitungan Kebutuhan Arus Proteksi	Proteksi Katodik A=9.490964 A Proteksi Katodik B=121.9588874 A Proteksi Katodik C=121.9588874 A
Perhitungan Jumlah Anoda	Proteksi Katodik A = 2 buah Proteksi Katodik B =17 buah Proteksi Katodik C =17 buah
Tahanan anoda groundbed	Untuk resistivitas tanah sebesar $\rho_1=1150$ ohm-cm, -Proteksi Katodik A, N=1 $R_g=0.995$ ohm -Proteksi Katodik B dan C, N=4 $R_g =0.291$ ohm Untuk resistivitas tanah sebesar $\rho_2=1500$ ohm-cm, -Proteksi Katodik A, N=1 $R_g= 1.297$ ohm -Proteksi Katodik B dan C, N=4 $R_g= 0.379$ ohm
Resistansi Kabel	0.0786 ohm
Tegangan Trafo Rectifier	Untuk resistivitas tanah sebesar $\rho_1=1150$ ohm-cm, -Proteksi Katodik A= 14.7369 V -Proteksi Katodik B, dan C=,345 V Untuk resistivitas tanah sebesar $\rho_1=1500$ ohm-cm, -Proteksi Katodik A= 18.3197 V -Proteksi Katodik B, dan C== 71.760 V

3.2. Analisa Teknis Hasil SACP

Tabel 3. Analisa Teknis SACP

Keterangan	Nilai
Perhitungan Luas Permukaan	-Proteksi Katodik A adalah untuk wilayah GRE-Gresik = 22331.68 m ² -Proteksi Katodik B, adalah untuk wilayah Gresik-Cepu=286962.088 m ² -Proteksi Katodik C, adalah untuk wilayah Cepu-Semarang=286962.088 m ²
Perhitungan Arus Total Proteksi	$I_p = 253.408$ A
Pemilihan Material dan Tipe Anoda	Magnesium
Perhitungan Tahanan Anoda	Tahanan anoda jika dipasang secara horizontal =7.54 ohm Tahanan anoda jika dipasang secara vertical=10.77 ohm

Perhitungan Arus Listrik	0.12 A.
Perhitungan Jumlah Anoda Minimum	2111 anoda
Jumlah Anoda Yang Digunakan	4538 Anoda
Perhitungan Jarak Pemasangan 2 Anoda	33.82 m
Perhitungan Jumlah Test Station Box (SB)	144 box.

3.3 Analisa Ekonomis ICCP

Tabel 4. Analisa Ekonomis ICCP

Sistem Proteksi	Biaya Material	Biaya Instalasi
	USD	USD
Proteksi Katodik A	35280	12170
Proteksi Katodik B	223995	40395
Proteksi Katodik C	223995	40395
Total	483270	92960

3.4 Analisa Ekonomis SACP

Tabel 5. Analisa Ekonomis SACP

No	Keterangan	Total Unit	Biaya Material	Total
			USD	USD
1	Packaged Magnesium-Sacrificial Anode High Potential Magnesium Alloy (-0.85V vsCu/CuSO ₄) 25 kg weight gypsum-bentonite-sodium sulphate backfill 7.5 m long tail cable 10 sqmm	4538	110	499180
2	Test Station Box	144	300	43200
Total Biaya Material			539380	
3	Biaya Instalasi			107245
Total Biaya Keseluruhan			646625	

3.5 Analisa kelebihan dan kekurangan 2 Metode Sistem Proteksi.

Analisa ini dilakukan mulai dari analisa teknis ICCP dan SACP sampai dengan perhitungan ekonomis kedua metode tersebut. Sehingga dari hasil analisa tersebut dapat diketahui kekurangan dan kelebihan. Berikut adalah kelebihan dan kekurangan masing-masing.

3.5.1 Kelebihan dan Kekurangan ICCP

a. Kelebihan ICCP

-Kemampuan proteksi sistem ini bersifat meluas

- Proses *maintenance* sistem proteksi lebih sederhana.
 - Arus dapat diatur sesuai kebutuhan
 - Total Biaya lebih murah daripada biaya SACP.
- b. Kekurangan ICCP
- Desain ICCP yang terbilang rumit
 - Ketergantungan ICCP terhadap *external power*

3.5.2 Kelebihan dan Kekurangan ICCP

a. Kelebihan SACP

- Desain SACP sangat sederhana
 - Tidak membutuhkan *external power*
- b. Kekurangan SACP
- Perfoma SACP tidak dapat dikontrol.
 - Kemampuan anoda yang hanya bersifat lokal
 - Proses *maintenance* untuk sistem proteksi akan sangat rumit
 - Total biaya lebih banyak

3.6 Analisa Perbandingan

Perbandingan	ICCP	SACP
Kemudahan proses desain	-	√
Kemudahan proses instalasi	-	√
Ketidak tergantung External Power	-	√
Performance controlling	√	-
Keleluasan proteksi	√	-
Kemudahan proses maintenance	√	-
Total kebutuhan ekonomis	576230 USD	646625 USD

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

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

1. Penggunaan metode ICCP untuk proyek *pipeline* transmisi gas Gresik-Semarang sepanjang 267 km, didesain menjadi 3 bagian, yaitu sistem proteksi A, sistem proteksi B, dan sistem proteksi C. Anoda total yang dibutuhkan adalah sebanyak 36 set anoda TI MMO, dengan panjang total kabel yang digunakan adalah sebesar 300 m *negative return and positive*. Biaya total yang dibutuhkan adalah sebesar Rp. 7.929.501.030.
2. Penggunaan metode SACP untuk proyek *pipeline* transmisi gas Gresik –Semarang membutuhkan 4538 anoda magnesium dan 144 *test station box*. Sehingga biaya yang dibutuhkan adalah sebesar Rp. 8.898.206.625.
3. Proteksi katodik dengan menggunakan metode ICCP adalah metode yang lebih efisien untuk diterapkan di proyek *pipeline* transmisi gas ini, karena selain memenuhi kriteria perancangan dari perhitungan teknis, metode ini juga

membutuhkan biaya yang lebih murah dari segi ekonomisnya.

4.2 Saran

Penelitian tentang perbandingan kedua metode sistem proteksi katodik ini, dapat dikembangkan menjadi beberapa penelitian yang lain, antara lain :

1. Pengaruh pelapisan pipa terhadap kebutuhan teknis dan ekonomis masing-masing metode.
2. Pengaruh *design groundbed* pada metode ICCP terhadap kebutuhan teknis dan ekonomis masing-masing metode.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Adam, D. N. (2016). Analisa Perbandingan SACP dan ICCP Sebagai Proteksi Katodik Untuk Underground Trunkline PGDP. *CPEAA* .
- [2] (1999). ASTM G1. In *Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimen, American Society for Testing Material*. USA.
- [3] B. Bushman, J. *Corrosion and Cathodic Protection Theory*. Inc. Ohio.
- [4] Baeckmann, W. (1997). *Handbook of Cathodic Corrosion Protection*. USA: Gulf Professional Publishing.
- [5] Fajri, R. (2014). *Proteksi Katodik Untuk Proyek Pembangunan Pipa Gas Dari Gresik Ke Semarang*. Jakarta.
- [6] Mulyono, P. R. (2017). Perancangan Sistem Proteksi Katodik Anoda Tumbal Pada Pipa Baja API 5L Grade B Dengan Variasi Jumlah Coating Yang Dipasang Didalam Tanah. *Tugas Akhir* .
- [7] (2002). Control of External Corrosion of Underground or Submerged Metallic Piping System. In NACE. Houston, Texas.
- [8] Pranama, B. C., & Sarwito, S. (2010). Analisa Penggunaan Impressed Current Cathodic Protection (ICCP) Pada Sistem Pendingin Utama Unit 1 dan 2 PLTU Paiton. *ICCP* .
- [9] Purwanta, M. (2012). Analisis Sistem Proteksi Korosi Untuk Pipa Petroleum Gas, Material API 5L X52. *Cathodic Protection* .
- [10] Wiludin, A., & Soepomo, H. (2013). Analisa Teknis dan Ekonomis Penggunaan ICCP Dibandingkan Sacrificial Anode Dalam Proses Pencegahan Korosi. *Proteksi Katodik* .