

Pengaruh Resistivitas Tanah terhadap Metode Proteksi Katodik SACP dan ICCP untuk *Underground Pipeline*

Fandi Ahmad^{1*}, Budi Prasajo², Arie Indartono³

Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia^{1*}

Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia²

Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia³

Email: fandi31.ahmad@gmail.com^{1*}; budiprasajo1968@gmail.com^{2*}; 31^{3*};

Abstrack - In this research, analysis the influence of soil resistivity against catodhic protection method of SACP and ICCP for underground pipeline. This research was conducted with the objective to recommend catodhic protection method according with soil resistivity from the result of the analysis comparison the needs of economical between SACP and ICCP based on soil resistivity variation. This research in general will analyzes the influence of soil resistivity against catodhic protection method of SACP and ICCP for underground pipeline. In this case, the calculation is technical calculation and economical from each method by variations of soil resistivity. In addition, this research also analyze comparison the needs of economical between SACP and ICCP based on soil resistivity variation. The result of this research can be concluded that for underground pipeline along 23 km with diameter 12 inch on soil resistivity $\leq 7 \text{ ohm.m}$ more efficient use catodhic protection method of SACP because the costs of catodhic protection method of SACP cheaper than the costs of catodhic protection method of ICCP. While on soil resistivity $\geq 8 \text{ ohm.m}$ more efficient use catodhic protection method of ICCP because the costs of catodhic protection method of SACP cheaper than the costs of catodhic protection method of SACP.

Keywords : SACP, ICCP, underground pipeline, soil resistivity, technical calculation, economical calculation

1. PENDAHULUAN

Korosi adalah kerusakan material logam yang ditandaidengan adanya pengurangan ketebalan sebagian maupunmerata dipermukaan material. Kerusakan ininitidak dapat dihindari atau bahkan dihilangkan. Banyak faktor dari lingkungan yang sangat berpengaruh dalam terjadinya korosi, seperti kelembapan udara, kelembapan tanah, temperatur, dan lain-lain. Usahayangdapatdilakukanhanyalah“pencegahan”,a garkorositidakterjadi dalamwaktuyangrelatifsingkat.

Proteksi katodik merupakan salah satu cara untuk mencegah terjadinya korosi pada logam. Proteksi katodik terdiri dari 2 metode, yaitu *Sacrificial Anode Cathodic Protection* (SACP) dan *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP). Perusahaan

Engineering, Procurement, and Construction (EPC) yang bergerakdi beberapa bidang, seperti *Oil and Gas*, *Petrochemical*, *Mining*, dan *Power*

Plant, sangat memperhatikan masalah korosi ini.

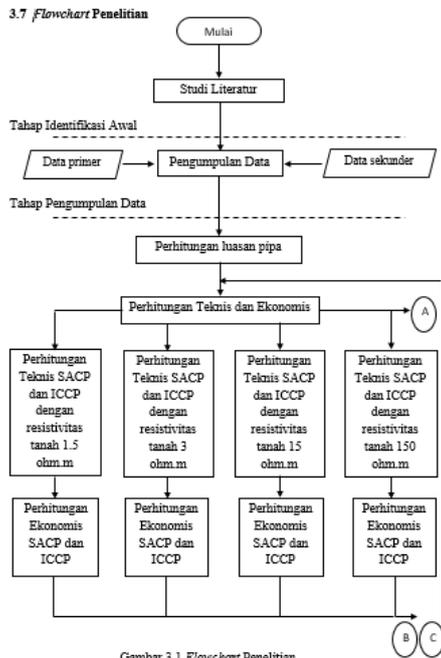
Karena tahap desain yang dilakukan oleh perusahaan EPC adalah langkah pertama dalam pencegahan korosi.

Sebelumnya pernah dilakukan penelitian tentang Studi Komparasi kinerja Anoda Tumbal pada Proses pada Proteksi Katodik di Lingkungan Tanah Humus (Birawidha, 2009), Analisa Perbandingan SACP dan ICCP sebagai Proteksi Katodik untuk *Underground Trunkline* PGDP (Destio, 2016) dan Analisa Ekonomis Pemakaian Anoda dengan Metode *Sacrificial Anode Cathodic Protection* (SACP) pada Pipa API 5L Gr.X52 (Eko, 2016). Permasalahan yang terjadi saat ini adalah pihak perusahaan harus menghitung terlebih dahulu untuk dapat menentukan metode proteksi katodik yang efisien khususnya dalam kasus *underground pipeline* ini. Tugas akhir ini merupakan pengembangan dari penelitian yang sudah dilakukan oleh Destio tersebut. Berdasarkan permasalahan di atas, diangkatlah Tugas Akhir ini yang berjudul “Pengaruh Resistivitas Tanah terhadap Metode Proteksi Katodik SACP dan ICCP untuk *Underground Pipeline*”. Dalam hal ini, yang diperhitungkan adalah pengaruh variasi resistivitas tanah terhadap perhitungan teknis dan ekonomis dari masing-masing metode. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk merekomendasikan metode proteksi katodik yang sesuai dengan resistivitas tanah dari hasil analisa keseimbangan kebutuhan antara SACP dan ICCP.

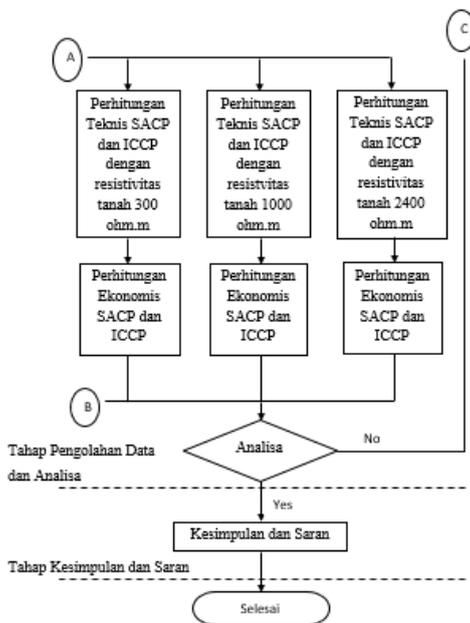
2. METODOLOGI

2.1 Diagram Alir

Diagram alir penelitian jurnal ini ditunjukkan pada gambar di bawah ini:



Gambar 3.1 Flowchart Penelitian



Gambar 3.2 Lanjutan Flowchart Penelitian

2.2 Formula Perhitungan

2.2.1 Perhitungan teknis SACP

Dalam membuat suatu desain proteksi SACP, maka referensi yang digunakan adalah NACE Standard RP-01-

69 *Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping Systems*. maka akan digunakan rumus-rumus berikut ini:

1. kebutuhan Arus Proteksi

$$I_t = \frac{SA \times CD \times CB}{1000} \times (1 + sf) \dots\dots\dots(2.1)$$

I_t : Total Arus Proteksi(A)

SA :Luasan Pipa(m²)

CD : Densitas Arus(mA/m²)

CB: *Coating Breakdown*(%)

sf: *Safety Factor*1 (%)

2. Jumlah Anoda Dipasang

$$N = N_{min} \times (1 + sf) \dots\dots\dots(2.2)$$

N : Jumlah Anoda(buah)

N_{min} :Jumlah Anoda Minimum (buah)

sf2: *Safety Factor* ke-2 (%)

3. *Test Station Box*

$$SB = \frac{L_{pipe}}{200m} \dots\dots\dots(2.3)$$

S_B : Jumlah Station Box(buah)

L_{pipe} : Panjang Pipa (m)

2.2.2 Perhitungan teknis ICCP

Dalam membuat suatu desain proteksi SACP, maka referensi yang digunakan adalah NACE Standard RP-01-69 *Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping Systems*. maka akan digunakan rumus-rumus berikut ini:

1. Nilai Tegangan DC *Transformer Rectifier*

$$V_{DC} = [(I_t \times R_t) \times (1 + SF_3)] + B_{emf} \dots\dots(2.4)$$

V_{DC} :tegangan DC(V)

I_t :Total Arus Proteksi(A)

R_t : Tahanan Total (ohm)

SF_3 : *Safety Factor* 3(persen)

B_{emf} : Tegangan balik(V)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 4.1 Spesifikasi objek proteksi katodik

NO	Deskripsi	Nilai	Satuan
1	Material Pipa	API 5L Gr.X52	
2	Diameter Pipa	0.3238	m
3	Panjang Pipa	23000	m
4	Coating	3	LPE
5	Coating Breakdown	1	%
6	Usia Design	20	Tahun

Tabel di atas menunjukkan spesifikasi objek pada penelitian ini. Dari tabel diatas akan dilakukan perhitungan kebutuhan teknis dan ekonomis proteksi katodik SACP dan ICCP berdasarkan variasi resistivitas tanah untuk mengetahui pengaruh resistivitas tanah terhadap kedua metode tersebut. Berikut ini adalah tabel daftar nilai resistivitas tanah dari berbagai jenis tanah.

Tabel 2. Nilai Resistivitas Tanah

NO	Jenis tanah	Nilai	Satuan
1	Tanah lempung, basah lembek	1.5-3.0	Ohm.m
2	Tanah lanau & tanah lanau basah lembek	3-15	Ohm.m
3	Tanah lanau, pasiran	15-150	Ohm.m
4	Batuan dasar berkekar terisi tanah lembab	150-300	Ohm.m
5	Pasir kerikil terdapat lapisan lanau	±300	Ohm.m
6	Batuan dasar terisi tanah kering	300-2400	Ohm.m
7	Batuan dasar tak lapuk	>2400	Ohm.m

Menghitung luasan pipa adalah langkah pertama yang dilakukan untuk mengetahui luasan pipa objek yang diproteksi. Perhitungan tersebut dapat dilakukan dengan rumus berikut :

$$SA = \pi \times OD_{pipe} \times L_{pipe}$$

SA : Luasan pipa keseluruhan (m²)

OD_{pipe} : Diameter luar pipa (m), dari tabel 4.1

L_{pipe} : Panjang pipa (m), dari tabel 4.1

$$SA = \pi \times 0,3238 \text{ m} \times 23000 \text{ m} = 23397 \text{ m}^2$$

Perhitungan berikutnya adalah mencari arus proteksi yang dibutuhkan untuk memproteksi objek yang diproteksi. Perhitungan tersebut dapat dilakukan dengan rumus berikut :

$$I_t = \frac{SA \times CD \times CB}{1000} \times (1 + sf)$$

I_t : Total Arus Proteksi(A)

SA :Luasan Pipa(m²)

CD : Densitas Arus(mA/m²)

CB : Coating Breakdown(%)

sf : SafetyFactor1 (%)

$$I_t = \frac{23397 \text{ m}^2 \times 30 \frac{\text{mA}}{\text{m}^2} \times 0.01}{1000} \times (1 + 10\%)$$

$$= 8,77 \text{ A}$$

Dari perhitungan di atas dapat diketahui bahwa besar arus proteksi dibutuhkan adalah sebesar 8,77 A. Setelah mengetahui besar arus proteksi yang dibutuhkan, untuk perhitungan selanjutnya adalah perhitungan jumlah anoda yang dibutuhkan dari masing-masing resistivitas tanah yang sudah divariasikan.

Tabel 3. Perhitungan Kebutuhan Teknis SACP

NO	Resistivitas (ohm.m)	Jumlah Anoda (set)	Jarak Anoda (m)	Jumlah Station Box (pcs)
1	1,5	9	2555,56	12
2	3	17	1352,94	12
3	15	80	287,5	12
4	150	791	29,08	12
5	300	1579	14,57	12
6	1000	5262	4,37	12
7	2400	12627	1,82	12

Dari tabel di atas menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai resistivitas tanah maka semakin banyak anoda yang dibutuhkan dan semakin dekat pula jarak pemasangan antar anodanya

Setelah mengetahui kebutuhan teknis dari setiap variasi resistivitas tanah, kemudian dihitung kebutuhan ekonomisnya. Perhitungan kebutuhan ekonomis ini adalah biaya investasi awal dan biaya pemasangan.

Biaya investasi awal yang dibuthkan untuk proteksi katodik SACP adalah mencakup biaya untuk pembelian anoda *magnesium* sebesar US\$ 55/set dan *test box* sebesar US\$ 200/unit. Berikut ini adalah tabel hasil perhitungan biaya investasi awal yang harus dikeluarkan untuk tiap variasi resistivitas tanah.

Tabel 4. Perhitungan Biaya Investasi Awal SACP

NO	Resistivitas (ohm.m)	Total Harga Anoda (US\$)	Total Harga Test Box (US\$)	Total Biaya (US\$)
1	1,5	495	2400	2895
2	3	935	2400	3335
3	15	4400	2400	6800
4	150	43505	2400	45905
5	300	86845	2400	89245
6	1000	289410	2400	291810
7	2400	694485	2400	696885

Selanjutnya adalah menghitung biaya pemasangan yang dibutuhkan. Biaya pemasangan ini mencakup biaya pemasangan anoda sebesar US\$ 600/set, biaya pemasangan *test box* sebesar US\$ 50/unit, dan biaya *drilling* sebesar US\$ 10000. Berikut ini adalah tabel hasil perhitungan biaya pemasangan yang harus dikeluarkan untuk tiap variasi resistivitas tanah.

Tabel 4. Perhitungan Biaya Pemasangan SACP

NO	Resistivitas (ohm.m)	Biaya Drilling (US\$)	Total Biaya Anoda (US\$)	Total Biaya Test Box (US\$)	Total Biaya (US\$)
1	1,5	10000	5400	600	16000
2	3	10000	10200	600	20800
3	15	10000	48000	600	58600
4	150	10000	474600	600	485200
5	300	10000	947400	600	958000
6	1000	10000	3157200	600	3167800
7	2400	10000	7576200	600	7586800

Setelah mengetahui biaya investasi awal dan biaya pemasangannya, tabel di bawah ini merupakan total biaya yang dibutuhkan untuk proteksi katodik dari variasi resistivitas tanah.

Tabel 5. Perhitungan Kebutuhan Ekonomis SACP

NO	Resistivitas (ohm.m)	Biaya Investasi Awal (US\$)	Biaya Pemasangan (US\$)	Total (US\$)
1	1,5	2895	16000	18895
2	3	3335	20800	24135
3	15	6800	58600	65400
4	150	45905	485200	531105
5	300	89245	958000	1047245
6	1000	291810	3167800	3459610
7	2400	696885	7586800	8283685

Perhitungan selanjutnya adalah perhitungan kebutuhan teknis dan ekonomis metode proteksi katodik ICCP dengan variasi resistivitas tanah. Langkah pertama adalah menghitung jumlah minimal anoda ICCP. Perhitungan tersebut dapat dilakukan dengan rumus berikut :

$$Q_{min} = \frac{I_t}{I_o}$$

Q_{min} : minimal anodayangdibutuhkan(buah)

I_t : Total Arus Proteksi(A)

I_o : Keluaran 1 Anoda(A)

$$Q_{min} = \frac{8,77 A}{7,68 A} = 1,14 \text{ buah anoda}$$

Dari perhitungan di atas, selanjutnya dilakukan perhitungan jumlah anoda dengan menggunakan *safety factor*. Perhitungan tersebut dapat dilakukan dengan rumus berikut :

$$Q = Q_{min} \times (1 + SF_2)$$

Q : Jumlah anoda yang dibutuhkan

Q_{min} : Minimal anoda yang dibutuhkan

SF_2 : *Safety factor 2*

$$Q = 1,14 \times (1 + 0,15) = 2 \text{ buah anoda}$$

Perhitungan selanjutnya adalah perhitungan kebutuhan tegangan DC yang harus dicukupi oleh *transformator rectifier* untuk memproteksi struktur pipa berdasarkan variasi resistivitas tanah. Berikut ini adalah tabel perhitungan tegangan DC *transformator rectifier* berdasarkan variasi resistivitas tanah.

Tabel 6. Perhitungan Tegangan DC Rectifier Berdasarkan Variasi Resistivitas Tanah.

NO	β (ohm.m)	SA (m ²)	V_{DC} (V)
1	1,5	23397	3,24
2	3	23397	3,53
3	15	23397	5,18
4	150	23397	31,47
5	300	23397	59,98
6	1000	23397	193,03
7	2400	23397	459,14

Pada dasarnya resistivitas tanah tidak begitu mempengaruhi kebutuhan teknis dari metode proteksi katodik ICCP. Resistivitas tanah hanya mempengaruhi nilai tegangan DC rectifier. Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa semakin tinggi resistivitas tanah maka semakin tinggi pula tegangan DC yang dibutuhkan *rectifier* untuk memproteksi pipa.

Setelah melakukan perhitungan teknis untuk metode proteksi katodik ICCP, berikut ini adalah *bill of material's quantity* untuk desain proteksi katodik ICCP dari berbagai variasi resistivitas tanah.

Tabel 7. *Bill of Material's Quality* untuk ICCP

NO	DESCRIPTION	TOTAL	UNIT
1	Transformer Rectifier	1	Set
2	String Tubular Ti MMO Anode 25,4 mm dia x 1000 mm long	8	Set
3	Positive Junction Box	1	Set
4	Test Station Box	12	Set
5	Power Cable Anodes to PJB	1200	m
6	Power Cable PJB to TR	200	m

Dari tabel di atas dapat dilanjutkan ke tahap perhitungan ekonomis. Perhitungan ekonomis ICCP disini adalah perhitungan biaya investasi awal dan perhitungan biaya pemasangan yang dibutuhkan untuk metode proteksi katodik ICCP. Perhitungan biaya investasi awal ICCP ditunjukkan oleh tabel di bawah ini :

Tabel 8. Perhitungan Biaya Investasi Awal ICCP

NO	DESCRIPTION	TOTAL	UNIT	PRICE (US\$/set)	TOTAL PRICE (US\$)
1	Transformer Rectifier	1	Set	5000	5000
2	String Tubular Ti MMO Anode 25,4 mm dia x 1000 mm long	8	Set	50	400
3	Positive Junction Box	1	Pcs	100	100
4	Test Station Box	12	Set	200	2400
5	Power Cable Anodes to PJB	1200	M	10	15000
6	Power Cable PJB to TR	200	M	10	2000
Total					24900

Selanjutnya adalah menghitung biaya pemasangan yang dibutuhkan. Berikut ini adalah tabel perhitungan biaya pemasangan untuk metode proteksi katodik ICCP.

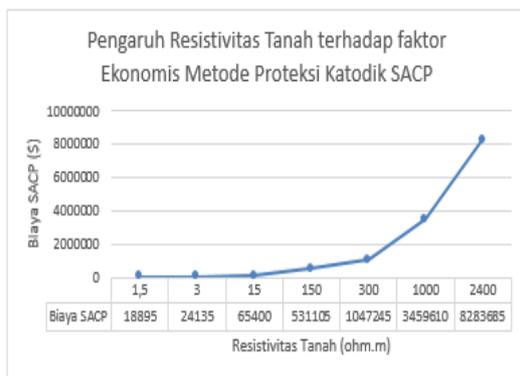
Tabel 9. Perhitungan Biaya Pemasangan ICCP

NO	DESCRIPTION	TOTAL	UNIT	PRICE (US\$/set)	TOTAL PRICE (US\$)
1	Installation of Rectifier	1	Set	2250	2250
2	Installation of Anode	8	Set	500	4000
3	Installation of Junction Box	1	Pcs	600	600
4	Installation of Test Station Box	12	Set	50	600
5	Drilling				10000
Total					17450

Setelah mengetahui biaya investasi awal dan biaya pemasangan metode proteksi katodik ICCP untuk *underground pipeline* sepanjang 23 km dengan diameter 12 inch dan berbagai resistivitas tanah, total keseluruhan kebutuhan ekonomisnya adalah sebesar US\$ 42350.

Selanjutnya adalah analisa pengaruh resistivitas tanah terhadap kebutuhan ekonomis masing-masing metode. Berikut ini adalah gambar grafik pengaruh resistivitas tanah terhadap kebutuhan ekonomis metode proteksi katodik SACP.

Gambar 1. Pengaruh Resistivitas tanah terhadap kebutuhan ekonomis SACP



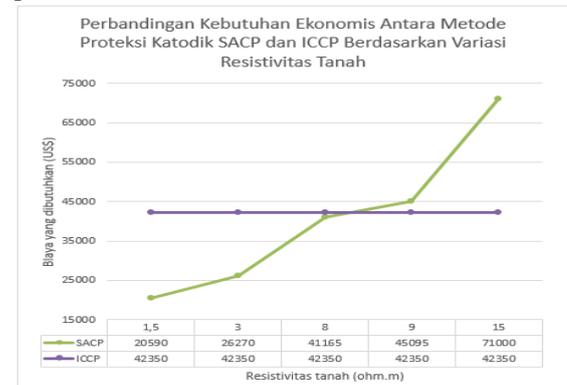
Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa semakin tinggi resistivitas tanah maka semakin tinggi pula biaya yang harus dikeluarkan untuk metode proteksi katodik SACP.

Sedangkan untuk metode proteksi katodik ICCP, resistivitas tanah tidak mempengaruhi kebutuhan ekonomisnya. Dari hasil perhitungan

yang sudah dilakukan, biaya yang harus dikeluarkan untuk metode proteksi katodik dari berbagai variasi resistivitas tanah adalah sebesar US\$ 42350.

Setelah menganalisa pengaruh resistivitas tanah terhadap kebutuhan ekonomis dari masing-masing metode, maka langkah selanjutnya adalah membandingkan kebutuhan ekonomis kedua metode dari variasi resistivitas tanah untuk mengetahui sistem yang paling efisien berdasarkan variasi resistivitas tanah sekaligus mengetahui *range* pemilihan sistem metode proteksi katodik SACP dan ICCP berdasarkan resistivitas tanah untuk *underground pipeline* sepanjang dengan diameter 12 inch. Berikut ini merupakan gambar grafik perbandingan kebutuhan ekonomis antara metode proteksi katodik SACP dan ICCP berdasarkan variasi resistivitas tanah.

Gambar 2. grafik perbandingan kebutuhan ekonomis proteksi katodik SACP dan ICCP.



Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa untuk *underground pipeline* sepanjang 23 km dengan diameter 12 inch, pada resistivitas 1,5 ohm.m sampai dengan 8 ohm.m lebih efisien metode proteksi katodik SACP karena kebutuhan ekonomis yang dibutuhkan SACP lebih murah dibandingkan biaya yang dibutuhkan metode proteksi katodik ICCP. Sedangkan apabila resistivitas lebih dari 9 ohm.m maka lebih efisien menggunakan metode proteksi katodik ICCP karena biaya yang dibutuhkan ICCP lebih murah dibandingkan dengan biaya yang dibutuhkan metode proteksi katodik SACP.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisa pada bab sebelumnya, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Resistivitas tanah sangat mempengaruhi kebutuhan teknis dan kebutuhan ekonomis

- metode proteksi katodik SACP, semakin tinggi nilai resistivitas tanah maka semakin banyak anoda yang dibutuhkan dan semakin dekat pula jarak pemasangan antar anodanya. Pengaruh Resistivitas tanah terhadap kebutuhan ekonomis berbanding lurus dengan jumlah anoda yang dibutuhkan, semakin besar resistivitas tanah maka semakin besar pula biaya yang harus dikeluarkan.
2. Resistivitas tanah tidak begitu mempengaruhi kebutuhan teknis dari metode proteksi katodik ICCP, sehingga tidak mempengaruhi kebutuhan ekonomisnya. Resistivitas tanah hanya mempengaruhi nilai tegangan DC yang dibutuhkan oleh *transformator rectifier* untuk memproteksi pipa. Semakin besar resistivitas tanah maka semakin besar pula nilai tegangan DC yang dibutuhkannya.
 3. Perbandingan kebutuhan ekonomis kedua metode menunjukkan bahwa untuk pipa *underground pipeline* sepanjang 23 km dengan diameter 12 inch pada resistivitas tanah ≤ 8 ohm.m lebih efisien menggunakan metode proteksi katodik SACP karena biaya yang dibutuhkan untuk metode proteksi katodik SACP lebih rendah daripada metode proteksi katodik ICCP. Sementara itu, untuk resistivitas tanah ≥ 9 ohm.m lebih efisien menggunakan metode proteksi katodik ICCP karena biaya yang dibutuhkan untuk metode proteksi katodik ICCP lebih rendah daripada metode proteksi katodik SACP.

4.2 Saran

Dari penelitian yang sudah dilakukan, dapat dilakukan pengembangan untuk penelitian selanjutnya :

1. Pengaruh diameter terhadap kebutuhan teknis dan ekonomis dari kedua metode.
2. Pengaruh tipe anoda terhadap kebutuhan teknis dan ekonomis dari kedua metode.
3. Pengaruh resistivitas tanah dan panjang pipa terhadap kebutuhan teknis dan ekonomis kedua metode.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Adam, Destio Nooris.2016.“Analisa perbandingan SACP dan ICCP sebagai Proteksi Katodik untuk *Underground Trunkline* PGDP”. PPNS, Surabaya
- [2] Isdiantoro, Eko Wahyu.2016.“Analisa Ekonomis Pemakaian Anoda dengan Metode *Sacrificial Anode Cathodic Protection* (SACP) pada pipa API 5L GR.X52”. PPNS, Surabaya
- [3] NACE RP0169. *Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping System*.
- [4] Setiyawan, T. & W. Utama.2010.“Interpretasi Bawah Permukaan Daerah Porong Sidoarjo dengan Metode Geolistrik Tahanan Jenis untuk Mendapatkan Bidang Patahan”. ITS, Surabaya