

ANALISIS TEKNIS DAN EKONOMIS SISTEM PROTEKSI KATODIK ANODA TUMBAL DAN PROTEKSI KATODIK ARUS PAKSA PADA *UNDERGROUND GAS PIPELINE* DI PERUSAHAAN EKSPLORASI DAN PENGOLAHAN GAS BUMI

Gita Arsy Jayanti¹, Subagio Soim², Bayu Wiro Karuniawan.³

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

Program Studi D-IV 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: gitaarsy20@gmail.com¹

Abstract – An exploration and gas processing company in Sidoarjo are planning to replace the anodic cathodic protection system on existing underground gas pipeline with new current cathodic protection that will be located next to each other. One of the protections become ineffective, without calculating the compared technical value and economic value of each cathodic protection. This research performed to analyze technical and economical of the comparison of each cathodic protection based on NACE RP 0169 Control of External Corrosion of Underground or Submerged Metallic Piping System. From calculation that has been done, that is for cathodic protection using High Potential Magnesium anode are $Nw1 = 185$, $Nw2 = 192$, $Nw3 = 198$, $Nw4 = 205$, and $Nw5 = 212$ and each 3 station box. With total cost of 1. 162.731.264, 2. 168.726.288, 3. 173.864.880, 4. 179.859.904, 5. 185.854.928. Meanwhile cathodic protection forced current needs 2 Ti MMO anode for each current density variation, 100 meter power cable from anode to junction box, 200 meter power cable from junction box to rectifier, 200 meter power cable from rectifier to pipeline, 1 set junction box and 1 set rectifier. With the total cost of Rp87.825.222. Thereby the cathodic protection forced current are the most efficient method that applied to underground gas pipeline in exploration and gas processing company.

Keywords : Corrosion, Cathodic protection, Underground gas pipeline, Economic

Nomenclature

SA Area Permukaan Pipa (m^2)
D Outside Diameter (m)
L Length of pipe (m)
Ip Kebutuhan arus proteksi (A)
SA Area permukaan pipa (m^2)
Cd Densitas arus (mA/m^2)
Cb Coating Breakdown (%)
W Total Berat Anoda (kg)
CR Kapasitas Anoda (A.hr/kg)
u Faktor Utilisasi (%)
Nw Jumlah Anode Berdasarkan Berat (buah)
Wa Berat Satuan Anode (m)
Ra Tahanan Anoda – Elektrolit (ohm)
p Resistivitas Elektrolit (ohm.com)
La Panjang Anoda (cm)
Da Diameter Anoda (cm)
Ia Kapasitas Arus Keluaran Anoda (ampere)
 ΔV Driving Voltage (volt)
Ni Jumlah Anoda Berdasarkan Arus (buah)
Sp Jarak pemasangan anoda (m)
SB Jumlah Station Box (buah)
Q_{min} Jumlah Anoda
Io Keluaran Arus Anoda (A)

Ra Tahanan Anoda Relatif (ohm)
fa Faktor Interferensi antar Anoda
SAa Jarak Antar Anoda dalam *Groundbed* (m)
Na Jumlah Anoda Dalam 1 *Groundbed* (buah)
Rb Tahanan *Backfill* (ohm)
Lb Panjang *Backfill* (m)
Db Diameter *Backfill* (m)
Rgb Tahanan *Groundbed* (ohm)
Na Jumlah Anoda Dalam 1 *Groundbed* (buah)
Lc Panjang Kabel (m)
Rcs Tahanan Spesifik Kabel (ohm/m)
N Jumlah Kabel Paralel (buah)
C jumlah Inti (buah)
R_t Tahanan Total Sirkuit (ohm)
R_{gb} Tahanan pada *Groundbed* (ohm)
R_{kabel DC} Tahanan Kabel DC (ohm)
VDC Tegangan DC (V)
Rt Tahanan Total (ohm)
SF Safety Factor (%)
B_{emf} Tegangan Balik (V)

1. PENDAHULUAN

Salah satu perusahaan eksplorasi dan pengolahan gas bumi di Kabupaten Sidoarjo, berencana akan memasang *gas pipeline* baru dari sumur gas

menuju *plant* produksi untuk meningkatkan kebutuhan produksi gas bumi. *Gas pipeline* baru akan dibangun pada jalur yang sama dengan *gas pipeline* yang ada. *Gas pipeline* yang ada mengalirkan fluida gas dari sumur gas menuju *plant* produksi untuk diolah lebih lanjut. Salah satu masalah yang dihadapi oleh perusahaan adalah kerusakan *gas pipeline* karena korosi.

Secara umum ada beberapa cara yang dapat digunakan sebagai metode pencegahan korosi salah satunya yaitu proteksi katodik. Penanganan korosi yang digunakan oleh perusahaan eksplorasi dan pengolahan gas bumi yang berlokasi di kabupaten Sidoarjo pada *underground gas pipeline* yang ada adalah sistem proteksi katodik anoda tumbal. Dikarenakan *underground gas pipeline* baru yang akan di pasang oleh perusahaan direncanakan akan menggunakan sistem proteksi arus paksa. Sehingga perusahaan berencana untuk mengubah proteksi anoda tumbal pada *underground gas pipeline* yang ada menjadi proteksi arus paksa dikarenakan jika kemungkinan akan tidak efektifitasnya salah satu proteksi katodik diantara *underground gas pipeline* baru atau *underground gas pipeline* yang telah ada atau bahkan keduanya. Tetapi rencana pergantian sistem proteksi ini dilakukan tanpa adanya perhitungan nilai teknis dan ekonomis sesuai standar pada masing – masing sistem proteksi katodik oleh perusahaan.

Oleh karena itu, penelitian ini akan membahas tentang perbandingan sistem proteksi anoda tumbal dengan sistem proteksi katodik arus paksa. Ditinjau dari perhitungan teknis dan ekonomis dengan mengacu pada standart NACE RP 0169 *Control of External Corrosion of Underground or Submerged Metallic Piping System. Underground gas pipeline* yang ada pada perusahaan eksplorasi dan pengolahan gas bumi di Kabupaten Sidoarjo menggunakan material *A106 Gr B*, diameter 8” dengan Panjang 5450 meter.

2. METODOLOGI .

2.1 Korosi

Korosi adalah perusakan atau penurunan mutu dari material akibat bereaksi dengan lingkungan [1]. Korosi menyebabkan pengurangan ketebalan pada umumnya logam dikarenakan reaksi yang terjadi karena faktor lingkungan dengan zat pada material logam [3]. Korosi dapat merusak sebagian kecil permukaan material ataupun secara merata ke seluruh permukaan material. Kerusakan ini akan menghasilkan berbagai macam oksida logam, kerusakan permukaan logam secara morfologi, perubahan sifat mekanis, ataupun perubahan sifat kimia. Dalam industri proses, perubahan sifat inilah yang dapat menjadi ancaman yang sangat serius. Ancamannya dapat berupa perubahan sifat fluida dikarenakan bereaksi dengan logam yang

sudah terkorosi, ataupun kegagalan sistem dikarenakan adanya kebocoran.

Sehingga penanganan korosi sangat dibutuhkan untuk mencegah terjadinya kerugian akibat kegagalan pada sistem yang ada. Dengan pemilihan proteksi yang tepat dan sesuai dapat banyak mengurangi adanya potensi kegagalan sistem akibat korosi.

2.2 Metode Proteksi Katodik Anoda Tumbal

Sebuah sistem proteksi katodik anoda tumbal memanfaatkan potensi korosif untuk logam yang berbeda. Tanpa perlindungan katodik, satu area struktur yang ada pada potensial yang lebih negatif daripada yang lain, dan hasil korosi. Jika benda jauh lebih lembam (yaitu, dengan potensi jauh lebih negatif, seperti magnesium anoda) ditempatkan berdekatan dengan struktur yang akan dilindungi, seperti saluran pipa; dan koneksi logam (kawat berisolasi) dipasang antara objek dan struktur, objek akan menjadi anoda dan seluruh struktur akan menjadi katoda. Sehingga objek baru (anoda) berkorban untuk melindungi struktur (katoda) [2].

Sistem proteksi katodik anoda tumbal menggunakan aliran listrik alami dengan media konduktor dalam hal ini yaitu tanah.[4]

2.3 Metode Proteksi Katodik Arus Paksa

Prinsip dari metode anoda arus paksa ini adalah melindungi logam dengan cara mengalirkan arus listrik searah yang diperoleh dari sumber luar, biasanya dari penyearah arus (*transformer rectifier*), dimana kutub negatif dihubungkan ke logam yang dilindungi dan kutub positif dihubungkan ke anoda [5]. Arus mengalir dari anoda melalui elektrolit ke permukaan *pipeline*, kemudian mengalir sepanjang *pipeline* dan kembali ke *rectifier* melalui konduktor listrik. Karena *pipeline* menerima arus dari elektrolit, maka *pipeline* menjadi terproteksi.

2.4 Material Anoda

Terdapat tiga macam jenis anoda yang digunakan pada proteksi katodik anoda tumbal, jenis dan pengaplikasian anoda disebutkan pada tabel 2.1 :

Tabel 2.1 Jenis Anoda Proteksi Katodik Anoda Tumbal

No.	Jenis Anoda	Pengaplikasian
1.	Magnesium	Tanah
		biasanya digunakan untuk pipa dalam tanah dan struktur baja ditanam lainnya
2.	Zink	Digunakan pada tanah dengan resistivitas < 150 Ω.m
		Tanah, Laut
3.	Aluminium	Digunakan pada tanah dengan resistivitas < 30 Ω.m
		Laut

Sedangkan menurut Standar NACE RP0572 Tahun 2001 dan buku Peabody’s Control Of Pipeline Corrosion – Second Edition, material anoda ICCP yang sering digunakan untuk

underground pipeline adalah *graphite, high silicon cast iron, mixed metal oxide (MMO), platinum* dan *steel* dimana setiap anoda memiliki kerapatan arus (*Current Density*) dan laju konsumsi (*Consumption Rate*) yang berbeda beda.

2.5 Perhitungan Luas Permukaan

Perhitungan Luas permukaan untuk mengetahui besar luas permukaan *pipeline* yang akan diproteksi, sebagai berikut :

$$SA = \pi . D . L$$

2.6 Perhitungan Teknis Proteksi Katodik Anoda Tumbal

Perhitungan mengenai desain proteksi katodik anoda tumbal terdiri dari beberapa komponen rumus sebagai berikut:

1. Kebutuhan Arus Proteksi

$$Ip = SA . Cd . Cb$$

2. Kebutuhan Berat Anoda

$$W = \frac{Ip \times La \times 8760}{CR \times u}$$

3. Jumlah Anoda Berdasarkan Berat

$$Nw = \frac{W}{wa}$$

4. Tahanan Anoda – Elektrolit

$$Ra = \frac{\rho}{2 \times \pi \times L} \ln \frac{8L}{r} - 1$$

5. Kapasitas Arus Keluaran Anoda

$$Ia = \frac{\Delta V}{Ra}$$

6. Jumlah Anoda Berdasarkan Arus

$$Ni = \frac{Ip}{Ia}$$

7. Jarak Pemasangan Anoda

$$Sp = \frac{L_{pipe}}{N}$$

8. Jumlah *Tesr Station Box*

$$SB = \frac{L_{pipe}}{2000m}$$

2.7 Perhitungan Teknis Proteksi Katodik Arus Paksa

Perhitungan mengenai desain proteksi katodik arus paksa terdiri dari beberapa komponen rumus sebagai berikut:

1. Jumlah Minimal Anoda

$$Q_{min} = \frac{It}{Io}$$

2. Tahanan Anoda Relatif

$$Ra = \frac{Resistansi \ Backfill}{2 \times \pi \times La} \times \ln \left[\left(\frac{8 \times La}{Da} \right) - 1 \right]$$

3. Faktor Interferensi Antar Anoda

$$fa = 1 + \frac{2La}{SAa} \ln (0,656 \times Na) \ln \left[\left(\frac{8 \times La}{Da} \right) - 1 \right]$$

4. Tahanan *Backfill*

$$Rb = \frac{Resivitas \ Tanah}{2 \times \pi \times Lb} \times \ln \left[\left(\frac{8 \times Lb}{Db} \right) - 1 \right]$$

5. Tahanan *Grouned*

$$Rgb = \frac{Ra}{Na} \times fa + Rb$$

6. Tahanan Kabel DC

$$Rkabel \ DC = \frac{Lc \times Rcs}{N \times C}$$

7. Tahanan Total Sirkuit

$$Rt = Rgb + Rkabel \ DC$$

8. Nilai Tegangan DC *Transformator Rectifier*

$$V_{DC} = [(It \times Rt) \times (1 + SF)] + B_{emf}$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 3.1 Data *Underground Gas Pipeline*

No	Data	Nilai	Satuan
1	Diameter Luar Pipa	0.2191	Meter
2	Tebal Pipa	0.0127	Meter
3	Panjang Pipa	5450	Meter
4	Material Pipa	A106 Gr B	
5	Resistivitas Tanah	1600	Ohm.cm
6	Umur Desain	30	Years
7	Design Current Density	28,29,30,31,32	mA/m ²
8	Material Eksternal Coating	3 LPE (3 Layer Polyethylene)	
9	Coating Breakdown	10	%
10	Safety Factor	25	%

Tabel 3.1 menunjukkan data *properties underground gas pipeline* yang digunakan sebagai acuan perancangan desain proteksi katodik anoda tumbal dan arus paksa. Langkah pertama untuk merancang proteksi katodik yaitu memilih anoda yang akan di gunakan sesuai dengan kondisi *pipeline* yang akan diproteksi.

3.1 Pemilihan Jenis Anoda

Untuk sistem proteksi katodik anoda tumbal menggunakan anoda jenis *magnesium*, dimana secara umum anoda *magnesium* paling banyak digunakan pada pipa bawah tanah. Dengan spesifikasi anoda sebagai berikut :

Tabel 3.2 Spesifikasi Anoda Magnesium

No.	Design Parameter Anoda	Nilai	Satuan
1.	Anode Material	Magnesium - High Potential Alloy	
2.	Berat Satuan Anoda	32	lbs
3.	Anode capacity	1212	Amp-hr/Kg
4.	Diameter	203	mm
5.	Panjang	762	mm
6.	Utilization Factor	85	%

Sedangkan untuk anoda yang digunakan pada proteksi katodik arus paksa adalah jenis *mixed metal oxide* (MMO), dikarenakan masa pakai yang lebih lama yaitu 30 – 50 tahun dan biaya material MMO yang lebih rendah dibandingkan sistem besi tuang atau anoda *graphite* dengan spesifikasi anoda dan groundbed sebagai berikut :

Tabel 3.3 Spesifikasi Anoda *Mixed Metal Oxide* (MMO)

No	Design Parameter Anoda	Nilai	Satuan
1.	Anoda Material	MMO (Mixed Metal Oxyde)	
2.	Diameter	25	mm
3.	Panjang	1000	mm
4.	Luas Permukaan	0,079	m ²
5.	Keluaran Arus	8	A
6.	Densitas Arus	100	A/m ²

Dengan spesifikasi desain groundbed sebagai berikut :

Tabel 3.4 Spesifikasi *Groundbed*

No.	Desain Parameter <i>Groundbed</i>	Nilai	Satuan
1.	Jenis <i>Groundbed</i>	Deep well groundbed	
2.	Diameter	0,177	M
3.	Panjang Total	15	M
4.	Jumlah Anoda yang Dipasang	4	Buah
5.	Jarak Antar Anoda	1,5	M
6.	Jenis <i>Backfill</i>	Superior Petroleum Calcined Coke	
7.	Tahanan Jenis <i>Backfill</i>	55	Ohm.cm

3.2 Kebutuhan Teknis Proteksi Katodik

Setelah memilih jenis masing – masing anoda yang digunakan, lalu menghitung kebutuhan teknis masing –masing anoda dengan hasil sebagai berikut :

Tabel 3.5 Hasil Perhitungan Teknis Proteksi Katodik Anoda Tumbal

Bill of Material sistem proteksi katodik anoda tumbal	Nilai Densitas Arus (Cd)				
	Cd1	Cd2	Cd3	Cd4	Cd5
	28 mA/m ²	29 mA/m ²	30 mA/m ²	31 mA/m ²	32 mA/m ²
Packaged Magnesium-Sacrificial Anode High Potential Magnesium Alloy (-0.85V vs Cu/CuSO4) 14,5 kg weight gypsum-bentonite-sodium sulphate backfill 7.5 m long tail cable 10 sqmm	185 buah	192 buah	198 buah	205 buah	212 buah
Test Station Box	3 buah	3 buah	3 buah	3 buah	3 buah

Tabel 3.5 menunjukkan hasil dari perhitungan teknis proteksi katodik berupa *bill of materials* yang akan digunakan untuk menghitung biaya material komponen proteksi katodik. Sedangkan hasil dari perhitungan teknis proteksi katodik arus paksa sebagai berikut :

Tabel 3.6 Hasil Perhitungan Teknis Proteksi Katodik Arus Paksa

Bill of Materials sistem proteksi katodik arus paksa	Nilai Densitas Arus (Cd)				
	Cd1	Cd2	Cd3	Cd4	Cd5
	28 mA/m ²	29 mA/m ²	30 mA/m ²	31 mA/m ²	32 mA/m ²
MMO Tubular anode 25 mm dia X 1000 mm long	2 buah	2 buah	2 buah	2 buah	2 buah
Kabel XLPE/PVC - 1 - 16 sqmm - 32 A (Min. Order 500 m)	100 m	100 m	100 m	100 m	100 m
Kabel XLPE/PVC - 1 - 35 sqmm - 50 A (Min. Order 500 m)	400 m	400 m	400 m	400 m	400 m
Junction Box	1 set	1 set	1 set	1 set	1 set
Rectifier	1 set	1 set	1 set	1 set	1 set

3.3 Kebutuhan Ekonomis Proteksi Katodik

Dari hasil perhitungan teknis berupa *bill of materials* masing- masing proteksi katodik, selanjutnya menghitung biaya untuk mengetahui kebutuhan ekonomis proteksi katodik, dengan hasil sebagai berikut :

Tabel 3.7 Perhitungan Ekonomis Proteksi Katodik Anoda Tumbal 1

Desain Current Density : 28 mA/m ²				
No.	Keterangan	Total Unit	Biaya Material Satuan	Total
1.	Packaged Magnesium-Sacrificial Anode High Potential Magnesium Alloy (-0.85V vs Cu/CuSO4) 14,5 kg weight gypsum-bentonite-sodium sulphate backfill 7.5 m long tail cable 10 sqmm	185	Rp856.432	Rp158.439.920
2.	Test Station Box	3	Rp1.430.448	Rp4.291.344
TOTAL Biaya Material				Rp162.731.264

Dari tabel 3.7 diketahui bahwa pada variasi desain *current density* 28 mA/m² membutuhkan biaya 162.731.264 rupiah.

Tabel 3.8 Perhitungan Ekonomis Proteksi Katodik Anoda Tumbal 2

Desain Current Density : 29 mA/m ²				
No.	Keterangan	Total Unit	Biaya Material Satuan	Total
1.	Packaged Magnesium-Sacrificial Anode High Potential Magnesium Alloy (-0.85V vs Cu/CuSO ₄) 14,5 kg weight gypsum-bentonite-sodium sulphate backfill 7.5 m long tail cable 10 sqmm	192	Rp856.432	Rp164.434.944
2.	Test Station Box	3	Rp1.430.448	Rp4.291.344
TOTAL Biaya Material				Rp168.726.288

Dari tabel 3.8 diketahui bahwa pada variasi desain *current density* 29 mA/m² membutuhkan biaya 168.726.288 rupiah.

Tabel 3.9 Perhitungan Ekonomis Proteksi Katodik Anoda Tumbal 3

Desain Current Density : 30 mA/m ²				
No.	Keterangan	Total Unit	Biaya Material Satuan	Total
1.	Packaged Magnesium-Sacrificial Anode High Potential Magnesium Alloy (-0.85V vs Cu/CuSO ₄) 14,5 kg weight gypsum-bentonite-sodium sulphate backfill 7.5 m long tail cable 10 sqmm	198	Rp856.432	Rp169.573.536
2.	Test Station Box	3	Rp1.430.448	Rp4.291.344
TOTAL Biaya Material				Rp173.864.880

Dari tabel 3.9 diketahui bahwa pada variasi desain *current density* 30 mA/m² membutuhkan biaya 169.573.536 rupiah.

Tabel 3.10 Perhitungan Ekonomis Proteksi Katodik Anoda Tumbal 4

Desain Current Density : 31 mA/m ²				
No.	Keterangan	Total Unit	Biaya Material Satuan	Total
1.	Packaged Magnesium-Sacrificial Anode High Potential Magnesium Alloy (-0.85V vs Cu/CuSO ₄) 14,5 kg weight gypsum-bentonite-sodium sulphate backfill 7.5 m long tail cable 10 sqmm	205	Rp856.432	Rp175.568.560
2.	Test Station Box	3	Rp1.430.448	Rp4.291.344
TOTAL Biaya Material				Rp179.859.904

Dari tabel 3.10 diketahui bahwa pada variasi desain *current density* 31 mA/m² membutuhkan biaya 179.859.904 rupiah.

Tabel 3.11 Perhitungan Ekonomis Proteksi Katodik Anoda Tumbal 5

Desain Current Density : 32 mA/m ²				
No.	Keterangan	Total Unit	Biaya Material Satuan	Total
1.	Packaged Magnesium-Sacrificial Anode High Potential Magnesium Alloy (-0.85V vs Cu/CuSO ₄) 14,5 kg weight gypsum-bentonite-sodium sulphate backfill 7.5 m long tail cable 10 sqmm	212	Rp856.432	Rp181.563.584
2.	Test Station Box	3	Rp1.430.448	Rp4.291.344
TOTAL Biaya Material				Rp185.854.928

Dari tabel 3.11 diketahui bahwa pada variasi desain *current density* 32 mA/m² membutuhkan biaya 185.854.928 rupiah. Sedangkan hasil perhitungan ekonomis proteksi katodik arus paksa disebutkan pada table 3.11 berikut :

Tabel 3.12 Perhitungan Ekonomis Proteksi Katodik Arus Paksa

Desain Current Density : 28 - 32 mA / m ²				
No	Keterangan	Total Unit	Biaya Material Satuan	Total
1.	MMO Tubular anode 25 mm dia X 1000 mm long (Min. order 10 pcs)	2	Rp1.427.388	Rp1.427.388
2	Kabel XLPE/PVC - 1 - 16 sqmm - 32 A (Min. Order 500 m)	100	Rp285.477	Rp285.477
3	Kabel XLPE/PVC - 1 - 35 sqmm - 50 A (Min. Order 500 m)	400	Rp285.477	Rp285.477
4	Junction Box	1	Rp14.304.480	Rp14.304.480
5	Rectifier	1	Rp71.522.400	Rp71.522.400
TOTAL				Rp87.825.222

Pada perhitungan ekonomis sistem proteksi arus paksa dibutuhkan biaya material komponen proteksi katodik sebesar 87.825.222 rupiah untuk semua variasi *current density*. Karena anoda yang dibutuhkan semua nya sama yaitu sebesar 2 buah anoda.

3.4 Analisis Perbandingan

Analisis perbandingan kedua sistem proteksi katodik dilihat dari kelebihan dan kekurangan masing – masing sistem proteksi katodik, sebagai berikut :

3.4.1 Kelebihan dan Kekurangan Sitem Proteksi Katodik Anoda Tumbal

- a. Kelebihan Sistem Proteksi Katodik Anoda Tumbal
 - Desain proteksi katodik sederhana.
 - Sistem proteksi anoda tumbal tidak membutuhkan *external power* dalam proses operasional.
- b. Kekurangan Sistem Proteksi Katodik Anoda Tumbal
 - Performa proteksi katodik tidak dapat dikontrol.
 - Kemampuan anoda yang bersifat lokal.
 - Proses maintenance rumit.
 - Total biaya material komponen desain proteksi lebih banyak.

3.4.2 Kelebihan dan Kekurangan Sitem Proteksi Katodik Arus Paksa

- a. Kelebihan Sistem Proteksi Katodik Arus Paksa
 - Kemampuan proteksi sistem ini bersifat meluas.
 - Proses maintenance sistem proteksi lebih sederhana.
 - Arus dapat diatur sesuai kebutuhan..
- b. Kekurangan Sistem Proteksi Katodik Arus Paksa
 - Desain proteksi katodik yang terbilang rumit.

- Ketergantungan proteksi katodik arus paksa dengan *external power*.

Setelah menganalisa kelebihan dan kekurangan masing – masing proteksi katodik, didapatkan perbandingan sebagai berikut

Tabel 3.13 Perbandingan Sitem Proteksi Katodik

Perbandingan	Proteksi Katodik Anoda Tumbal	Proteksi Katodik Arus Paksa
Kemudahan proses desain	-	√
Kemudahan proses instalasi	-	√
Ketidaktergantungan External Power	-	√
Performance controlling	√	-
Keleluasan proteksi	√	-
Kemudahan proses maintenance	√	-
Total kebutuhan ekonomis	-	√

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari perhitungan yang telah dilakukan didapatkan hasilnya yaitu untuk proteksi katodik anoda tumbal menggunakan jenis anoda *High Potential magnesium* untuk tiap variasi *Current Density* yaitu Nw1 = 185 buah, Nw2 = 192 buah, Nw3 = 198 buah, Nw4 = 205 buah, Nw5 = 212 buah dan masing – masing 3 buah *test station box*. Sedangkan proteksi katodik arus paksa memerlukan anoda jenis Ti MMO sebanyak masing – masing 2 buah anoda untuk tiap variasi *current density*, 100 meter *power cable* dari *anode to junction box*, 200 meter *power cable* dari *junction box to rectifier*, 200 meter dari *rectifier to pipeline*, 1 set *junction box* dan 1 set *rectifier*.
2. Biaya yang dibutuhkan untuk masing – masing variasi pada proteksi katodik anoda tumbal sebesar 1. Rp162.731.264, 2. Rp168.726.288, 3. Rp173.864.880, 4. Rp179.859.904, 5. Rp185.854.928, dan biaya yang dibutuhkan untuk proteksi katodik arus paksa sebesar Rp87.825.222.
3. Proteksi katodik yang lebih efisien untuk digunakan pada proyek *underground pipeline* pada perusahaan eksplorasi dan pengolahan gas bumi adalah metode proteksi katodik arus paksa, karena memenuhi kriteria perancangan dari perhitungan teknis dan dari segi ekonomisnya membutuhkan biaya yang lebih murah.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyadari bahwa dalam menyelesaikan jurnal ini tidak terlepas dari bimbingan dan juga motivasi oleh berbagai pihak, penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar – besarnya kepada :

1. Kedua orang tua yang telah memberikan dukungan materil, motivasi, nasehat dan juga do'a bagi kelancaran penulis.

2. Bapak Subagio So'im, selaku dosen pembimbing 1 yang telah membantu dengan memberikan bimbingan dan pengarahan dalam penyelesaian jurnal tugas akhir ini.
3. Bapak Bayu Wiro Karuniawan, selaku dosen pembimbing 2 yang telah membantu dengan memberikan bimbingan dan pengarahan dalam penyelesaian jurnal tugas akhir ini.

6. PUSTAKA

- [1] Fontana, M. G. (1986). *Corrosion engineering Series in materials science and engineering*.
- [2] Mohamad, S. (2009). CATHODIC PROTECTION OF UNDERGROUND STEEL PIPELINES BY USING SACRIFICIAL ANODES MOHD SAIFUL NIZAM BIN MOHAMAD *Thesis submitted in fulfilment of the requirements for the award of the degree of Bachelor of Mechanical Engineering Faculty of Mechanical Enginee*, (November).
- [3] Novita, V. D. (2018). Analisis Perbandingan Teknis Sistem ICCP Menggunakan Variasi Peletakan Groundbed pada Line Pipa Gas di Perusahaan Pupuk. *Proceeding 3rd Conference of Piping Engineering and Its Application*, 3(Vol 3 No 1 (2018): *3rd Conference on Piping Engineering and Its Application*, 211–216.
- [4] NACE. (2007). *NACE SP0169:2007 - Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping Systems* (Vol. 2007)
- [5] STANDART NACE RP0572-2001 - *Design, Installation, Operation, and maintenance of Impressed Current Deep Groundbed*.