

DESAIN METODE PROTEKSI KATODIK DENGAN ARUS PAKSA (*IMPRESSED CURRENT*) PADA PIPA DERMAGA

Jusni Sufrianti¹⁾, Amir Hamzah²⁾

¹⁾Mahasiswa Program Studi Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Riau

²⁾Dosen Program Studi Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kampus Binawidya Jl. HR. Soebrantas KM 12.5 Pekanbaru Kode Pos 28293

Email:jusni.sufrianti3600@student.unri.ac.id

ABSTRACT

Impressed Current Cathodic Protection (ICCP) is protection by giving electrons to the pipe material using a source of electric current from outside the system. In this article the design of cathodic protection using the impressed current method on the pier pipe contained in PERTAMINA Dumai's RU 2 is to protect 12 m long pipes in the water with a total protection current of 528 A, the result of analysis producing a rectifier specification for the design, $V_{DC} = 19,95$ V goes to Junction Box 1 (pier pipes connected to junction box 1) and $V_{DC} = 18,07$ towards Junction Box 2 (pier pipes connected to junction box 2), $V_{AC} = 22,17$ V on transformer 1 (electrical supply for junction box 1), and $V_{AC} = 20,08$ Von transformer 2 (electrical supply for junction box 2), $I_{AC} = 475,12$ A and Rectifier Power Capacity $P_{AC} = 104,528$ kVA, and the anode needed 67 Mixel Metal Anode (MMO).

Keywords: PLTSA, Incenerator, Feasibility Analysis, Technical Economics

PENDAHULUAN

Dermaga adalah tempat kapal ditambatkan di pelabuhan. Pada dermaga dilakukan berbagai kegiatan bongkar muat barang dan orang dari dan ke atas kapal. Di dermaga juga dilakukan kegiatan untuk mengisi bahan bakar untuk kapal, air minum, air bersih, saluran untuk air kotor/limbah yang akan diproses lebih lanjut di pelabuhan. Agar perawatan dermaga tidak menghabiskan biaya besar, maka perlu perancangan yang tepat mengenai sistem yang dipergunakan untuk mencegah korosi yang akan dialami oleh pipa dermaga, karena korosi bersifat merusak dan merugikan (Roberge, 1999).

Korosi atau karat merupakan suatu kondisi degradasi logam yang diakibatkan oleh reaksi reduksi - oksidasi yang terjadi pada logam dengan berbagai zat yang ada di lingkungan sekitarnya sehingga menghasilkan suatu senyawa yang tidak dikehendaki, contoh korosi yang umum terjadi adalah perkaratan logam besi (Afif Wiludin, 2012).

Korosi tidak dapat dicegah maupun dihentikan secara total tapi korosi ini hanya bisa

diperlambat lajunya sehingga memperlambat pula proses perusakan yang terjadi pada material tersebut. (Trisnangtyas, 2014). Untuk mencegah korosi pada bagian luar pipa dapat dilakukan dengan cara mengubah lingkungan sekitar pipa menjadi tidak korosif.

Pencegahan korosi pada *offshore pipeline* dapat dilakukan dengan menggunakan metode *Cathodic Protection*. Menurut Supomo (1995), prinsip dari *Cathodic Protection* adalah menyediakan elektron untuk struktur logam yang akan dilindungi. Jika arus mengalir dari kutub positif ke kutub negatif (teori listrik konvensional) struktur akan terlindungi jika arus masuk dari elektroda. Kebalikannya, laju korosi akan meningkat bila arus masuk melalui logam ke elektroda. Ada dua jenis *Cathodic Protection* (CP) yaitu *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP) dan *Sacrificial Anode Cathodic Protection* (SACP).

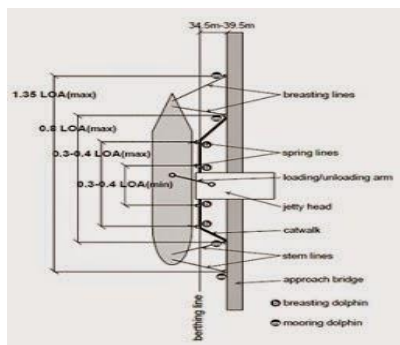
Menurut Zakaria (2004), *Impressed Current Cathodic Protection* adalah perlindungan dengan memberikan elektron pada material pipa dengan menggunakan sumber arus listrik dari luar sistem. Elektron yang diberikan berasal dari

anoda permanen yang terbuat dari logam. Sumber arus listrik yang digunakan untuk memberikan elektron ke badan pipa berasal dari *rectifier*. Kutub positif sumber arus DC dihubungkan dengan anode sedangkan kutub negatif sumber arus DC dihubungkan dengan material pipa. Sehingga elektron akan bergerak dari anode ke arah material pipa yang dilindungi terhadap pengaruh korosi. Oleh karena itu permukaan pipa akan menjadi katoda.

Pada artikel ini di usulkan desain proteksi katodik dengan menggunakan metode *impressed current* pada pipa dermaga yang terdapat di RU 2 PERTAMINA Dumai.

LANDASAN TEORI

Dermaga sistem *Dolphin* membutuhkan *jetty* untuk menghubungkan dermaga dengan darat.

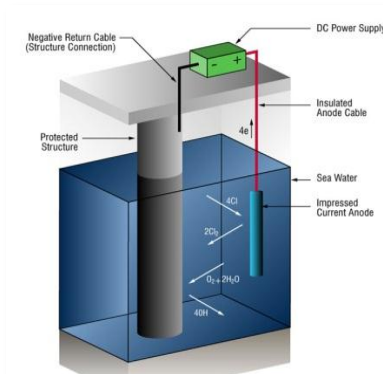


Gambar 1. Dimensi Struktur Dermaga Sistem *Dolphin*

(Sumber : <http://danieltamado.blogspot.com/2011/08/tinjauan-jenis-struktur-dermaga.html>)

Breasting dolphin (berthing dolphin) diletakkan berhadapan langsung atau menempel dengan badan kapal pada saat kapal bersandar. *Mooring dolphin* diletakkan dibelakang *berthing line* atau garis sandar kapal, dengan jarak 34,5-49,5 m supaya *mooring line* tidak terlalu kendur.

Di dalam sistem *Impressed Current*, arus listrik disuplai dari sumber daya DC eksternal, *Impressed current* anoda terhubung ke terminal positif unit penyearah transformator, sementara struktur pipa yang untuk dilindungi dihubungkan ke terminal negatif. (Zakaria, 2004) Tegangan DC yang berbeda pada unit transformator *rectifier* akan menyebabkan mengalir arus DC dari anoda ke *surface* struktur yang dilindungi melalui elektrolit.



Gambar 2. Sistem Proteksi *Impressed Current Cathodic Protection* (Mutia,2007)

Urutan Desain Perancangan *Impressed Current Cathodic Protection*

1. Menghitung Luas Permukaan bagian

$$A = \pi \times D \times L \quad (1)$$

Ket :

A = Luas Permukaan Pipa

D = Diameter Pipa

L = Panjang Pipa

2. Menghitung Kebutuhan Arus Proteksi

$$\begin{aligned} I_{ci} &= A_c \times i_{ci} \times f_{ci} \\ I_{cm} &= A_c \times i_{cm} \times f_{cm} \\ I_{cf} &= A_c \times i_{cf} \times f_{cf} \end{aligned} \quad (2)$$

Ket :

I_{ci} = Arus *Initial* Kebutuhan Proteksi

I_{cm} = Arus *Mean* Kebutuhan Proteksi

I_{cf} = Arus *Final* Kebutuhan Proteksi

A_c = Luas Permukaan Bagian

i_{ci} = Kerapatan Arus *Initial*

i_{cm} = Kerapatan Arus *Mean*

i_{cf} = Kerapatan Arus *Final*

f_{ci} = *initial coating breakdown factor*

f_{cm} = *mean coating breakdown factor*

f_{cf} = *final coating breakdown factor*

3. Menghitung Berat Anoda Total

$$M = \frac{I_{cm} \times t \times 8760}{\mu \times \epsilon} \quad (3)$$

Keterangan :

M = Berat total Anoda

I_{cm} = Kebutuhan arus proteksi *mean*

4. Menghitung Berat Anoda Total

t = waktu proteksi

8760 = jumlah jam dalam setahun

μ = faktor utilitas

ε = kapasitas elektrokimia anoda

5. Perhitungan Jumlah Anoda

$$N = \frac{M}{m} \quad (4)$$

M = Massa Total Anoda yang dibutuhkan selama waktu desain.

m = Massa standar dipasaran untuk anoda yang dipakai = 30 kg/m

6. Perhitungan Resistansi Anoda

$$R_h = \frac{\rho_{air\ laut}}{2.\pi.L} \left[\ln \frac{4.L}{r} - 1 \right] \quad (5)$$

Ket :

R_h = Tahanan Anoda

$\rho_{air\ laut}$ = 0,24

L = Panjang anoda MMO

r = jari – jari anoda MMO

7. Tahanan Kabel DC dari Anoda menuju Junction box

$$R_{c1} = L_{c1} \times R_{e1} \quad (6)$$

Keterangan :

R_{c1} =Tahanan kabel DC dari anoda menuju junction box

L_{c1} = Panjang kabel DC dari anoda menuju junction box

R_{e1} =Tahanan spesifik kabel

8. Tahanan Kabel DC dari Junction box menuju Kutub Positif Rectifier

$$R_{c2} = L_{c2} \times R_{e2} \quad (7)$$

Keterangan :

R_{c2} =Tahanan kabel DC dari junction box menuju rectifier

L_{c2} = Panjang kabel DC dari junction box menuju rectifier

R_{e2} =Tahanan spesifik kabel

9. Tahanan Total Sirkuit DC

$$R_T = R_h + R_{c1} + R_{c2} \quad (8)$$

Keterangan :

R_T = Tahanan total sirkuit DC

R_h = Tahanan anoda

R_{c1} = Tahanan kabel DC dari anoda menuju Junction box

R_{c2} = Tahanan kabel DC dari junction box menuju rectifier

10. Rugi – Rugi Tegangan DC Rectifier

$$E_t = I_t \times R_t \quad (9)$$

Keterangan :

E_t = Kebutuhan tegangan DC rectifier

I_t = Total arus proteksi yang dikirim oleh rectifier

R_t = Tahanan total sirkuit DC

11. Total Tegangan DC Rectifier

$$E_{DC} = E_t + (SF \times E_t) \quad (10)$$

Keterangan :

E_{DC} = Total tegangan DC Rectifier (V)

E_t = Kebutuhan tegangan DC rectifier

SF = Safety factor diberi 15 %

11. Kebutuhan daya AC yang diperlukan untuk Rectifier

$$I_{AC} = \frac{E_{DC} \times I_{DC}}{E_{AC} \times \eta} \quad (11)$$

Keterangan :

I_{AC} = Kebutuhan daya AC untuk rectifier(A)

V_{DC} = Total tegangan DC Rectifier (V)

I_{DC} = Arus keluaran DC (A) = 2,31 A

E_{AC} = Total tegangan AC Rectifier (V)

dengan nilai 220 V, one phase, 50 Hz

η = Efisiensi transformer-rectifier diberi 80 %

12. Kapasitas Transformator Rectifier yang di butuhkan

$$P_{AC} = I_{AC} \times E_{AC} \quad (12)$$

Keterangan :

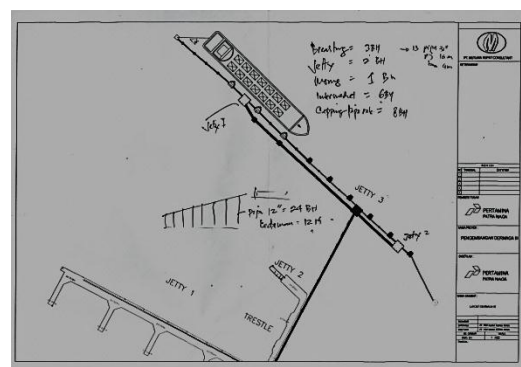
P_{AC} = Kapasitas transformator-rectifier

I_{AC} = Kebutuhan daya AC untuk rectifier(A)

E_{AC} = Total tegangan AC Rectifier (V)

Kondisi Umum Dermaga RU 2 Pertamina Dumai

Saat ini metode yang digunakan dalam melindungi dermaga di Dumai adalah metode anoda tumbal dengan rincian pipa – pipa yang akan dilindungi yaitu tampak pada gambar 3 berikut :



Gambar 3. Dermaga Pertamina RU 2 Dumai

Pipa *breasting dolphin* 3 unit, masing – masing 13 pipa, pipa *jetty head* 2 unit, masing – masing 16 pipa, pipa *mooring dolphin* sebanyak 1 unit sebanyak 9 pipa, pipa *intermediate dolphin* sebanyak 6 unit, masing – masing 2 pipa, kemudian pipa *capping rack type 2* sebanyak 8 unit masing – masing 4 pipa.

METODE PENELITIAN

Dalam membantu perancangan proteksi arus paksa dalam tugas akhir ini menggunakan acuan :

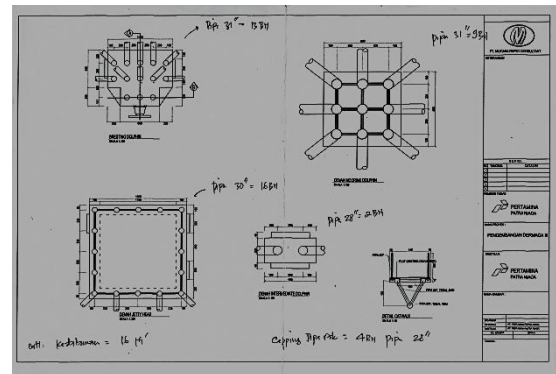
1. NACE Standard SP – 0169 -2013 *Control Of External Corrosion Of Underground or Submerged Metallic Piping System*
2. NACE Standard RP-0169-2002 *Control Of External Corrosion Of Underground or Submerged Metallic Piping System,*
3. *DNV-RP-B401 Cathodic Protection Design*
4. NACE RP-0176-2003. Pemasangan Anoda, Kabel, *Rectifier*, dll.

Anoda yang digunakan berbentuk seperti pipa (*tubular*) jenis *Mixed Metal Oxide Titanium Substrate* dengan spesifikasi sebagai berikut :

Material	: <i>Mixed Metal Oxide (MMO) coated Titanium</i>
Substrat	: <i>Titanium (ASTM B338 Grade I/Grade II)</i>
Tipe	: <i>SAP® Linear Distributed Anodes</i>
Aplikasi	: untuk laut
Bentuk	: <i>tubular</i>
Dimensi	: panjang = 1 m
diameter luar	: 0.0254 m
Berat	: 30 kg/m
Masa pakai	: 20 tahun
Arus keluaran	: 8 Amps
Tegangan maksimal	: 16 V
Tahanan jenis listrik	: 6×10^{-5} Ohm-cm
Laju konsumsi	: 1 mg/ampere-tahun
Tebal lapis lindung	: ≥ 14 gram/m ²

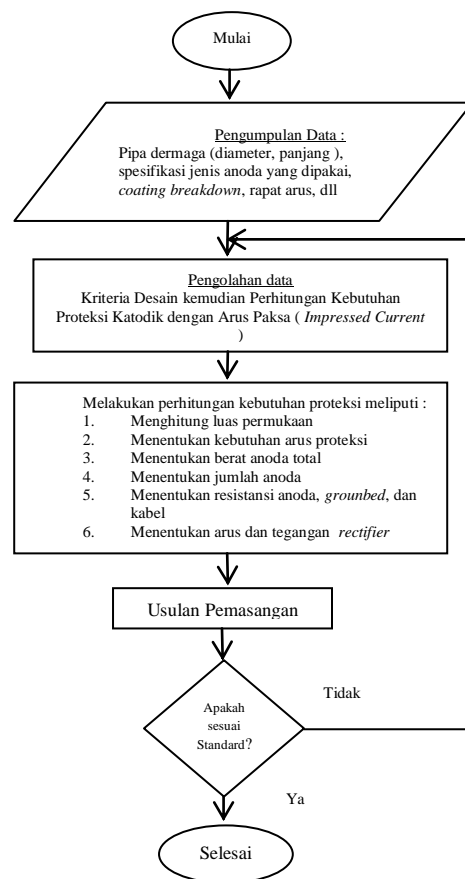
Klasifikasi Pipa Dermaga yang akan di Proteksi

Gambar dibawah merupakan klasifikasi pipa pondasi dermaga yang akan di proteksi dengan metode *impressed current* yang masing – masing pipa tersebut mempunyai jumlah yang berbeda yang terdiri dari beberapa unit.



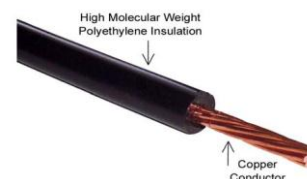
Gambar 4. Pipa Dermaga yang akan di Proteksi

Diagram Alir Perancangan



Gambar 5. Diagram Alir Penelitian

Kabel yang Digunakan dalam desain ini



Gambar 6. HMWPE (*High Molecular Weight Polyethylene (HMW-PE) Cathodic Protection Cables*)

PEMBAHASAN

Berikut ini adalah hasil perhitungan rancangan desain proteksi katodik metode arus paksa pada pipa dermaga meliputi luas area yang akan diproteksi, arus proteksi yang dibutuhkan, pemilihan material anoda, perhitungan jumlah anoda, menghitung berat anoda, hingga menentukan kapasitas dan spesifikasi *rectifier* yang akan digunakan.

Tabel 1. Luas Area dan Arus Proteksi

No	Data Pipa	Jumlah Anoda	Tahanan Anoda
1.	Pipa Breasting Dolphin Ø 31" x 12 m	22	0,219
2.	Pipa Jetty Head Ø 30" x 12 m	18	0,219
3.	Pipa Mooring Dolphin Ø 31" x 12 m	5	0,219
4.	Pipa Intermediate Dolphin Ø 28" x 12 m	6	0,219
5.	Pipa Caping Rack Type 2Ø 28" x 12 m	16	0,219

Pada pipa yang terpendam dalam air laut, luas permukaan yang hendak dilindungi adalah luas permukaan pipa yang kontak langsung dengan air, tidak termasuk yang menancap ke tanah, perhitungan luas permukaan luar dapat diperoleh dengan melibatkan diameter luar dan keseluruhan panjang pipa yang terpendam. Sementara untuk menentukan arus proteksi yang dibutuhkan melibatkan luas permukaan pipa dan ada faktor *coating breakdown* dari pipa tersebut akibat terkena air laut.

Tabel 2 di bawah merupakan total berat anoda yang dibutuhkan selama perancangan untuk 20 tahun pada masing – masing pipa, dimana dari total berat anoda ini bisa menentukan dan menghitung jumlah anoda yang dibutuhkan, resistansi anoda, arus keluaran tiap anoda.

Tabel 2. Berat Anoda Total

No	Data Pipa	Berat Anoda Total (M) kg
1.	Pipa Breasting Dolphin Ø 31" x 12 m	681
2.	Pipa Jetty Head Ø 30" x 12 m	540
3.	Pipa Mooring Dolphin Ø 31" x 12 m	157
4.	Pipa Intermediate Dolphin Ø 28" x 12 m	189
5.	Pipa Caping Rack Type 2Ø 28" x 12 m	504

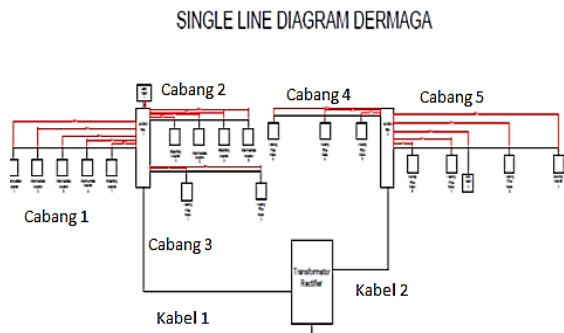
Tabel 3 di bawah merupakan hasil jumlah anoda *impressed current* yang akan digunakan pada desain ini, perhitungan jumlah anoda tersebut berdasarkan berat anoda dan arus keluaran setiap anoda. Kemudian tahanan anoda beserta arus keluaran setiap anoda, maka diperoleh tegangan yang dihasilkan oleh masing – masing anoda.

Tabel 3. Jumlah Anoda dan Tahanan Anoda

No	Data Pipa	Luas Area yang di Proteksi (A) m ²	Arus Proteksi (Ip) mA
1.	Pipa Breasting Dolphin Ø 31" x 12 m	1156,74	6998,277
2.	Pipa Jetty Head Ø 30" x 12 m	918,72	5558,256
3.	Pipa Mooring Dolphin Ø 31" x 12 m	266,94	1614,987
4.	Pipa Intermediate Dolphin Ø 28" x 12 m	321,48	1944,954
5.	Pipa Caping Rack Type 2Ø 28" x 12 m	857,28	5186,544

Tahanan kabel yang dihitung meliputi tahanan kabel yang menghubungkan anoda *grounded* dengan *junction box*, dan tahanan kabel yang menghubungkan *junction box* dengan transformator *rectifier*.

Berikut adalah *single line* diagram dari pipa – pipa dermaga, untuk memudahkan perhitungan tahanan kabel dan spesifikasi *rectifier*.



Gambar 7. Single Line Diagram Pipa Dermaga

Pada bagian ini tahanan kabel yang dihitung meliputi tahanan kabel yang menghubungkan anoda *grounded* dengan *junction box*, dan tahanan kabel yang menghubungkan *junction box* dengan transformator *rectifier*.

Tabel 4. Hasil Perhitungan Tahanan Kabel Anoda ke Junction Box 1

Cab.	Pipa	Rt (ohm)	Vt (Rugi -Rugi) (Volt)	Vt (Total) volt
1.	<i>Breathing Dolphin 1</i>	0,01572	0,88032	16,88
	<i>Intermediate Dolphin 1</i>	0,03144	0,25152	16,25
	<i>Intermediate Dolphin 2</i>	0,04716	0,37728	16,37
	<i>Intermediate Dolphin 3</i>	0,06288	0,50304	16,50
	<i>Intermediate Dolphin 4</i>	0,0786	0,6288	16,62
2.	<i>Breathing Dolphin 2</i>	0,01161	0,65016	16,65
	<i>Intermediate Dolphin 5</i>	0,02322	0,18576	16,18
	<i>Breathing Dolphin 3</i>	0,03483	1,95048	17,95
	<i>Intermediate Dolphin 6</i>	0,04644	0,37152	16,37
3.	<i>Caping Pipe 1</i>	0,08235	1,3176	17,31
	<i>Caping Pipe 2</i>	0,24705	3,9528	19,95
Jetty	<i>Jetty Head 1</i>	0,003635	0,26172	16,26

Dari tabel di atas, yang diambil tegangannya adalah yang paling besar, tegangan inilah yang digunakan untuk menghitung kapasitas *rectifier* yang digunakan, untuk Junction Box 1 tegangan yang diambil adalah 19,95 Vdc.

Tabel 5. Hasil Perhitungan Tahanan Kabel Anoda ke Junction Box 2

cab	Pipa	Rt (ohm)	Vt Rugi - Rugi(Volt)	Vtotal (volt)
4.	<i>Caping Pipe 3</i>	0,025875	0,414	16,41
	<i>Caping Pipe 4</i>	0,077625	1,242	17,24
	<i>Caping Pipe 5</i>	0,129375	2,07	18,07
5.	<i>Caping Pipe 6</i>	0,04221	0,67536	16,67
	<i>Caping Pipe 7</i>	0,05829	0,93254	16,93
	<i>Jetty Head 2</i>	0,00134	0,09648	16,09
	<i>Caping Pipe 8</i>	0,00603	0,09648	16,09
	<i>Mooring Dolphin 1</i>	0,03014	1,206	17,20

Dari tabel di atas, yang diambil tegangannya adalah yang paling besar, tegangan inilah yang digunakan untuk menghitung kapasitas *rectifier* yang digunakan, untuk Junction Box 2 tegangan yang diambil adalah 18,07 Vdc

Tabel 6. Ukuran Kabel masing – masing Cabang

Cabang	Idc	Ukuran Kabel
Cabang 1	88 A	35 mm ²
Cabang 2	128 A	50 mm ²
Cabang 3	32 A	10 mm ²
Cabang Jetty	72 A	25 mm ²
Cabang 4	48 A	16 mm ²
Cabang 5	160 A	70 mm ²
Kabel JB 1	320 A	150 mm ²
Kabel JB 2	208 A	95 mm ²

Dalam Instalasi nanti besar ukuran KHA Penghantar yang digunakan berbeda – beda, sesuai dengan arus maksimum rating setiap cabang yang ada di *single line* diagram diatas.

Transformator Rectifier

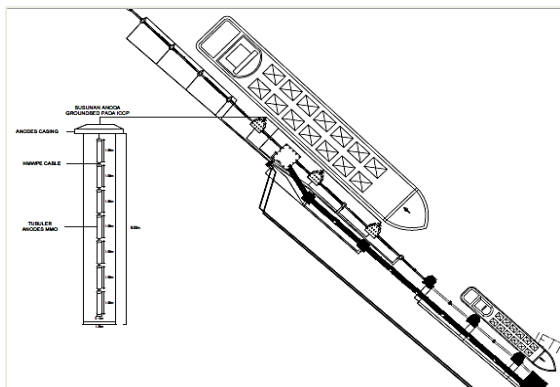
Setelah dilakukan perhitungan untuk menentukan desain dan spesifikasi pada proteksi katodik ini di dapatkan hasil spesifikasi *transformer rectifier* untuk perlindungan pipa sepanjang 12 m sebagai berikut :

- $V_{AC} = 220 \text{ V}$
- $V_{AC} \text{ (output)} = 22,17 \text{ V}$
- $I_{AC} \text{ (output)} = 475,12 \text{ A}$
- $P_{AC} = 104,528 \text{ kVA}$

Berdasarkan pada spesifikasi *transformer rectifier* yang didapat tegangan DC yang dibutuhkan sebesar 42,25 V, menurut standard DNV RP B101 ada batasan voltase operasional anoda MMO (*mixed metal oxide*).

HASIL PERANCANGAN

Sumber arus listrik yang digunakan untuk mengaktifkan *system impressed current* merupakan bagian yang sangat penting. Sumber listrik bisa berasal dari DC seperti aki, solar panel, generator angin dan lain - lain. Dan juga bisaberupa sumber AC yang berasal dari listrik PLN. Pada perancangan ini sumber arus listrik yang digunakan langsung diambil dari PERTAMINA.



Gambar 8. Posisi Anoda *Impressed Current* pada Dermaga RU 2 Dumai

Gambar di atas adalah salah satu tampak detail dari pemasangan anoda *seabed*, yang diambil contoh adalah pipa *breathing dolphin* yang membutuhkan 7 buah anoda untuk proteksi, yang dipasang berjarak 1 m dari pipa *breathing dolphin* dan dilindungi oleh casing juga di dalam air.

PENUTUP

Kesimpulan

1. Dari hasil perancangan sistem proteksi katodik arus paksa maka dibutuhkan :
 - a. 67 buah anoda *Titanium Tubular Mixed Metal Oxide* yang dipasang di beberapa bagian dermaga.
 - b. 1 buah *transformer rectifier* dengan masukan 220 volt AC, 50 Hz, 475,12 ampere.
 - c. Suplai *rectifier* dengan keluaran 22,17 volt DC dan kapasitas *TR* 104,52 kVA.

- d. Nilai potensial memenuhi standar NACE 0176- 2003.

5.2. Saran

Untuk melakukan evaluasi terhadap perancangan sistem arus paksa pada tiang pancang dermaga PT. Pertamina RU II Dumai maka dilakukan

- a. pengukuran potensial struktur tiang pancang terhadap air laut dengan media elektroda referensi Ag/AgCl.
- b. Melakukan monitoring terhadap potensial struktur secara berkala akan sangat membantu sistem control kehandalan dermaga.
- c. Perlu dilakukan pemeriksaan rutin kondisi masing-masing komponen sistem proteksi seperti anoda, elektroda referensi, *transformer rectifier* dan kabel-kabel untuk menjaga peforma sistem arus paksa.

DAFTAR PUSTAKA

Afif Wiludin. 2012 . Analisis Teknis dan Ekonomis Penggunaan ICCP. Semarang

Cathodic Protection Analysis,PT. Indocast Fransasia Sejahtera, 24

Department of the Army, Manual EM 1110-2-3400, *Engineering and Design Painting : New Construction And Maintenance, Chapter 2, Corrosion Theory and Corrosion Protection*.CECW-EE, Washington, D.C., 1995.

<http://danieltamado.blogspot.com/2011/08/tinjauan-jenis-struktur-dermaga.html> diakses Rabu 11 april 2018.

Indrasworo,Danang, “ *Studi Perancangan Sistem Proteksi Katodik dengan Metode Arus Tanding untuk menanggulangi korosi pada jaringan pipa*”. Universitas Indonesia.

Noor R. Tubagus, “*Perancangan Proteksi Arus Paksa pada Pipa Baja API 5L dengan Coating dan Tanpa Coating di dalam tanah*”. FTI-ITS, 2016.November 2010

P.R Roberge, *Handbook of Corrosion Engineering*, McGraw-Hill, New York, 1999.

Supomo, H., 1995, Diktat Kuliah Korosi,
Surabaya : Jurusan Teknik Perkapalan

Trisnangtyas, Rizky. “ *Analisa Desain Sistem
Impressed Current Cathodic Protection
(ICCP) pada Offshore Pipeline milik JOB
Pertamina – Petrochina East Java*”. FTK-
ITS,Surabaya.

Utomo, B. K. (2015, June 13).
www.corrosioncop.com. diakses 25 April
2018,from<http://www.corrosioncop.com/anda-mixed-metal-oxide-mmo/>