

Optimasi Proteksi Korosi *Pipeline* pada Metode Kombinasi SACP-ICCP melalui Penyebaran Tegangan Elektrokimia dan Aspek *Cost Rate*

Egi Sepfriansyah Avianto^{1*}, Budi Prasajo², Ir. Endah Wismawati³

Prodi Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri
Surabaya, Surabaya, Indonesia^{1,2,3}.
Email: Egi.perpipaan@gmail.com^{1*}

Abstract— Perlindungan korosi sangat diperlukan untuk semua baja atau jenis logam lainnya, terutama pada pipa yang bawah tanah (*underground pipeline*). Kontak langsung antara material pipa (*Api 5l - Carbon steel*) dapat mempercepat laju korosi. Penelitian berikut ialah kasus pada proyek konstruksi pipa 20 inci yang berbasis pada instalasi pipa. Awalnya untuk mencegah korosi jenis ini dilakukan proteksi katodik, tetapi hasil pemeriksaan terbukti bahwa ada kebocoran dari potensi perlindungan distribusi ke tanah. Oleh karena itu perlu dilakukan simulasi perlindungan distribusi untuk mendapatkan berapa banyak anoda (*magnesium package anode*) untuk memenuhi kebutuhan perlindungan. Hasil simulasi jarak anoda pada distribusi potensi dilakukan dengan variasi berikut: jarak setiap 45 meter, jarak setiap 30 meter, jarak setiap 20 meter, dan jarak anoda setiap 15 meter, dan 10 meter. Berdasarkan hasil simulasi ditemukan bahwa jarak anoda tidak dapat memenuhi perlindungan minimum (-850mv) kecuali pada jarak 10 meter. Pemasangan anoda pada jarak 10 meter dengan masing-masing pasangan jarak 4,2 meter membuktikan bahwa hasil simulasi telah memenuhi potensi minimum untuk perlindungan korosi. Berdasarkan simulasi teknis tersebut, penelitian ini juga memvariasikan biaya penggunaan anoda antara ICCP, SACP, dan tingkat biaya kerusakan yang tidak terlindungi. Sehingga dapat digunakan sebagai referensi untuk pemasangan jarak anoda untuk perlindungan korosi pipa.

Kata kunci: ICCP-SACP combination protection, Simulation, Cost rate (biaya)

Nomenclature

mV	Satuan potential (mili volt)
m	Satuan panjang (meter)
ρ	Resistifitas tanah (ohm.m)
A	Satuan arus listrik (amper)

1. PENDAHULUAN

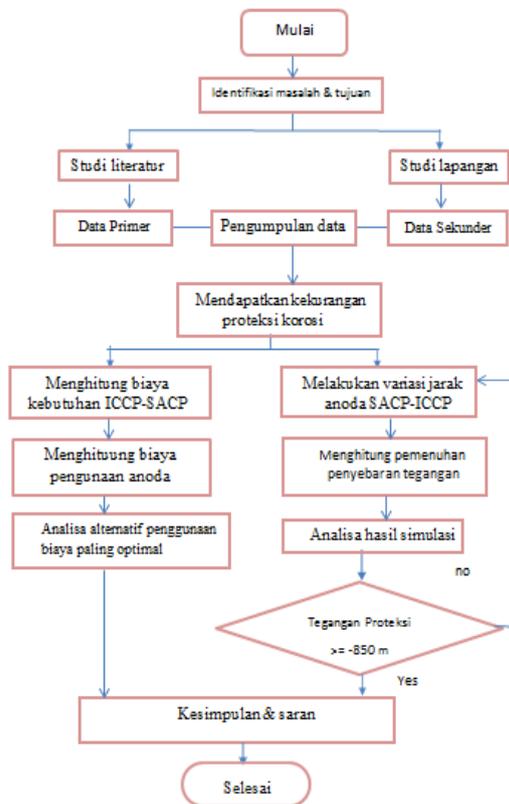
Korosi adalah pengurangan kualitas bahan yang umumnya logam, dan campuran karena kontak antara logam dan lingkungannya [1]. Berbagai transportasi, jembatan baja, konstruksi sipil, peralatan industri, mesin pabrik, dan fasilitas dan peralatan pembangkit energi sering mengalami serangan korosi. Ini juga terjadi seperti pada sistem perpipaan di industri kertas yang sangat penting untuk proses produksi [2]. Selanjutnya sering terjadi pada pipa yang berada di bawah tanah (*underground pipe*). Sistem perpipaan berada di bawah tanah karena tanah yang seharusnya digunakan untuk perpipaan sebenarnya digunakan sebagai area populasi sehingga tidak mungkin untuk menempatkannya di permukaan [3]. Oleh karena itu berbagai industri yang menggunakan peralatan logam harus menggunakan sistem perlindungan korosi. Korosi bahan atau campuran logam terjadi dengan berbagai proses setelah kontak dengan lingkungan. Ini adalah proses reduksi dan oksidasi. Menurut [6] menyatakan bahwa permulaan korosi terjadi pada logam karena

adanya proses redoks (reduksi dan oksidasi). Proses reduksi yang terjadi pada anoda adalah reaksi dua elemen yang mengikat antar elektron. Sedangkan oksidasi adalah reaksi yang dalam suatu materi membebaskan elektron sehingga elektron yang dibebaskan akan menuju ke daerah lain untuk mengurangi oksigen. Sebagai reaksi, persamaan redoks dapat ditulis sebagai berikut. Metode perlindungan korosi melibatkan penyebaran potensi listrik pada permukaan pipa menuju anoda. Nilai potensial dari pipa ini adalah patokan dalam berbagai standar apakah pipa telah dilindungi dari korosi atau tidak. Hal ini karena reaksi korosi adalah hal yang sama dengan reaksi bergerak elektrokimia potensial yang melibatkan elemen elektrolit, anoda dan katoda. Namun, pemasangan perlindungan pipa korosi telah dipasang pada pipa yang telah dipendam sementara hasil inspeksi dari perlindungan titik uji potensial menunjukkan nilai yang tidak memadai (-450 mV) dari kisaran kecukupan perlindungan (maksimal -850 mili volt) Ini membuat area pipa perlu diisi ulang untuk menginstal ulang anoda. Oleh karena itu, sangat penting untuk evaluasi dan peningkatan rekayasa berdasarkan kondisi area proyek melalui simulasi pemodelan numerik untuk mendapatkan nilai perlindungan yang lebih akurat dan lebih baik.

2. METODOLOGI .

2.1 Tahapan penelitian proteksi korosi metode kombinasi SACP-ICCP

Pemodelan proteksi korosi kombinasi serta kalkulasi *range* biaya anoda berikut dilakukan dengan berbagai proses. Hal tersebut dijelaskan pada gambar 1 uraian tahapan proses penelitian di bawah ini.



Gambar 1. Uraian tahapan proses penelitian.

Metodologi berikut adalah deskripsi proses penelitian yang dilakukan untuk mendapatkan jarak pemasangan anoda perlindungan korosi yang paling sesuai. Tahapan pertama adalah studi literatur yang dilakukan untuk mendapatkan literatur mengenai perlindungan korosi metode anoda tumbal. Dalam penelitian ini, telah disesuaikan dengan kondisi yang ada di lapangan, yakni perlindungan menggunakan dua jenis metode katodik proteksi (kombinasi SACP & ICCP). Studi ini diperoleh dari literatur buku perpustakaan dan e-book, referensi jurnal, dan penelitian sebelumnya. Maka implementasi dari studi lapangan adalah informasi, serta data yang diperoleh saat melakukan studi lapangan. Data primer berikut adalah informasi yang sesuai, yang diterapkan di lapangan untuk perlindungan korosi pipa. Beberapa data ini adalah spesifikasi vendor, klien (spesifikasi pemilik), permintaan akan persyaratan waktu perlindungan, gambar isometrik pipa (sebagai perhitungan luas permukaan perlindungan), dan hasil pengujian

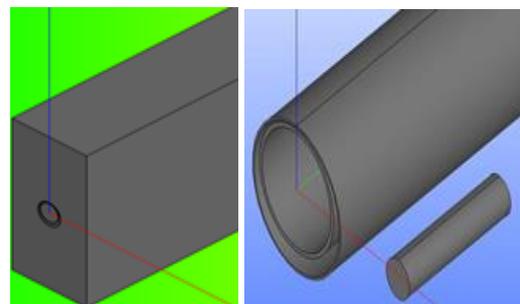
arus perlindungan. yang ketiga adalah proses simulasi untuk mendapatkan hasil analisa penyebaran potensial distribusi, baru kemudian melakukan perhitungan biaya penggunaan perlindungan korosi tersebut sesuai surat penawaran harga vendo proteksi korosi.

3.HASIL dan PEMBAHASAN SIMULASI PROTEKSI KOMBINASI SACP- ICCP

Pemodelan atau simulasi adalah langkah ketiga dari analisis. Ini dilakukan setelah menentukan kriteria parameter, dan titik yang akan mempengaruhi hasil. Simulasi perlindungan katodik ini terdiri dari beberapa proses. Itu adalah geometri pemodelan, kondisi batas, meshing, dan komputasi. Proses-proses tersebut dihitung oleh perangkat lunak Elmer 8.3 (perangkat lunak analisis sumber terbuka) dan hasilnya ditampilkan oleh Paraiew (perangkat lunak berbasis *opensource*).

3.1 Hasil Variasi Jarak Perlindungan Anoda Terhadap Metode Kombinasi SACP-ICCP

Model *geometry* atau simulasi adalah bentuk pemodelan 3D(tiga dimensi) yang dideskripsikan untuk melakukan pemodelan distribusi potensi anoda elektrokimia terhadap bahan pipa yang dilindungi dari korosi. Pada tahap geometri gambar, spesifikasi dimensi dan bentuk pipa menjadi data utama yang akan digunakan. Pemodelan simulasi distribusi tegangan perlindungan korosi berikut dalam pipa dibagi menjadi 4 (empat) badan atau bagian. Bagian ini adalah 1. SACP Anode dan ICCP Ground bed, 2. Tanah area pipa yang terkubur 3. Diameter pipa 20 inch SCH 40, 4. Selubung pipa atau lengan pipa STD diameter 24 inch. Berikut ini adalah spesifikasi dimensi yang digunakan untuk menggambarkan geometri sebagai langkah pemodelan. Gambar 2 di bawah ini adalah model geometri proteksi *underground pipeline*.

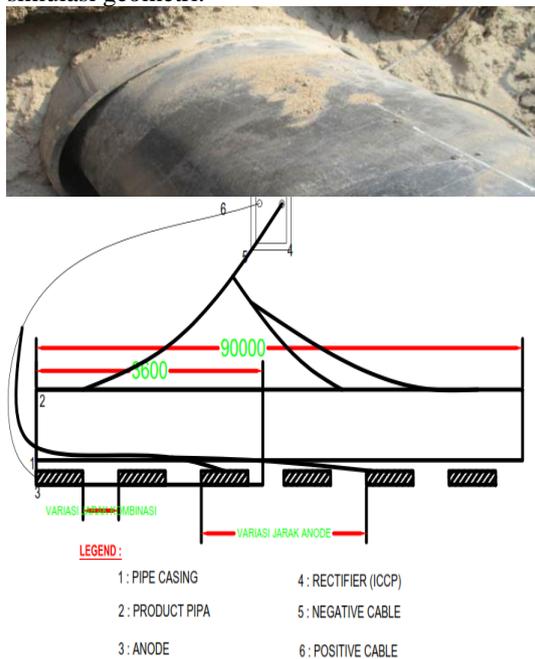


Gambar 2. Geometri proteksi katodik
 Kiri: model soil area; Kanan: model anode & sleeve Pipeline.

3.2 Parameter Simulasi

Parameter simulasi atau analisis pemodelan ini dijelaskan pada tabel 1. Pemodelan dilakukan di dalam batas tanah dan melibatkan geometri pipa dan anoda *packaged*. Dimensi geometri tanah untuk panjang x lebar x tinggi adalah 90 meter x 2 meter x 4 meter. Jarak setiap anoda kombinasi

bervariasi untuk mendapatkan distribusi potensial yang lebih baik bagi perlindungan katodik. Pada Gambar 3 dan tabel 1 menunjukkan parameter simulasi geometri.



Gambar 3. Parameter simulasi proteksi korosi (side view)
 Atas : kondisi pipeline; kanan: rangkaian proteksi

Tabel 1: Parameter pemodelan proteksi korosi metode kombinasi SACP-ICCP

No	Uraian	Nilai	Satuan
1	Anode weight	7.7	Kg
2	Anode length	0.7	m
3	Diameter Anoda	0.16	m
4	Panjang pipa	90	m
5	Panjang sleeve	36	m
6	Kapasitas anode	1200	Ah/kg
7	Tegangan anode	1.7	V

3.3 Meshing Simulasi Proteksi Katodik

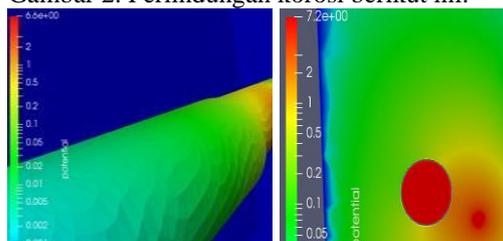
Tahap selanjutnya dari analisis perlindungan pipa dengan jenis perlindungan katodik ini adalah "Meshing", yang dibagi oleh geometri area sekitar pipa 20 inch menjadi sejumlah potongan atau node dan kemudian dapat dianalisa terhadap penyebaran potensial proteksi korosi. Dalam pemodelan aliran melalui objek 3D (tiga dimensi) memiliki klasifikasi dengan beberapa tahap jenis pengelompokan. Pengelompokan yang dilakukan pada analisa meliputi: pertama adalah Pengelompokan pada *face boundary* yang dianalisis akan membentuk *boundary* pada simulasi elmer, kedua adalah Pengelompokan *boundary volume* di setiap bagian pemodelan akan membentuk *body face* yang kemudian diberikan kondisi tiap *boundary* nya.

3.4 Kondisi Batas Perlindungan Katodik

Boundary Condition atau kondisi batas adalah parameter kondisi yang diberikan dalam simulasi pemodelan numerik. Dalam pemodelan perlindungan korosi, tipe katodik berikut ini diberikan beberapa parameter. Hal tersebut yakni: Nilai anoda pengorbanan tegangan anoda menurut spesifikasi vendor adalah 7,2 volt. Nilai tegangan yang diberikan oleh penyearah ICCP sesuai dengan spesifikasi vendor 48 volt. Nilai beda potensial di darat adalah 0 volt, dan menggunakan pemecah konduksi arus statis. Setelah mengatur kondisi batas di atas, proses *solver* kemudian dilakukan dengan menggunakan modul konduksi arus statis untuk melakukan perhitungan berulang.

3.5 Hasil Simulasi Pemodelan Proteksi Katodik Kombinasi SACP-ICCP

Perlindungan korosi dengan metode cathodic protection berikut ini adalah perlindungan korosi dalam pipa yang berada di tanah 90 m (sembilan puluh meter) di atas persimpangan utama 36 m (tiga puluh enam meter). Ini membuat pipa menggunakan *pipe sleeve*. Dalam penelitian menggunakan perhitungan desain untuk kebutuhan perlindungan dan simulasi perangkat lunak berikut ini membutuhkan hasil simulasi rekayasa konstruksi yang dilakukan berdasarkan data yang telah diperoleh. Jadi setelah mengatur pemodelan dengan variasi dalam pemodelan penyebaran perlindungan korosi menekankan pada jarak peletakan anoda dan masing-masing kombinasi dari ICCP-SACP. Hasil simulasi pemodelan perlindungan korosi pada perlindungan tipe katodik dari paraview perangkat lunak tinjauan ditunjukkan pada Gambar 2. Perlindungan korosi berikut ini.



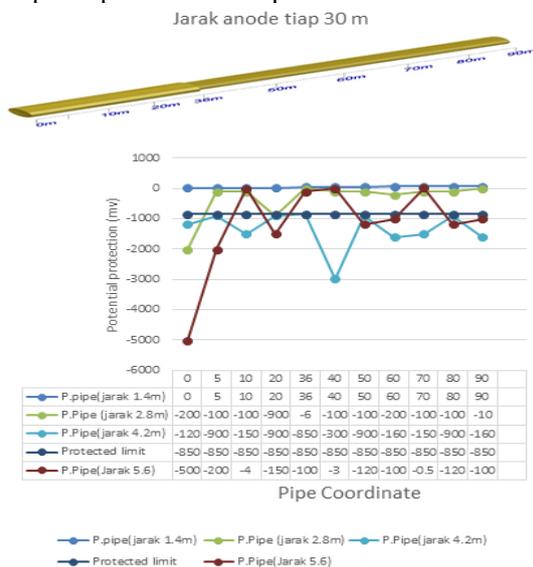
Gambar 4. Hasil penyebaran tegangan elektrokimia pada pipeline terproteksi korosi
 Kiri: distribusi pada pipa; Kanan: distribusi pada tanah

Metode perlindungan katodik tersebut adalah perlindungan korosi untuk jalur pipa 90 m (sembilan puluh meter) di atas jalur pipa utama 36 m (tiga puluh enam meter). Pada penelitian berikut menggunakan perhitungan desain sebagai penentuan jumlah anoda simulasi *software*. Data dilakukan berdasarkan data yang telah diperoleh. Setelah mengatur pemodelan variasi jarak anoda penyebaran tegangan proteksi korosi pada masing-masing kombinasi ICCP-SACP. Hasil simulasi pemodelan perlindungan korosi pada

jenis cathodic protection ditunjukkan pada gambar di bawah. Hasil pemodelan ditunjukkan pada Gambar 5,6,7, dan 8 grafik dari nilai penyebaran tegangan perlindungan korosi per anoda.

3.5.1 Variasi Anode Jarak 30 Meter

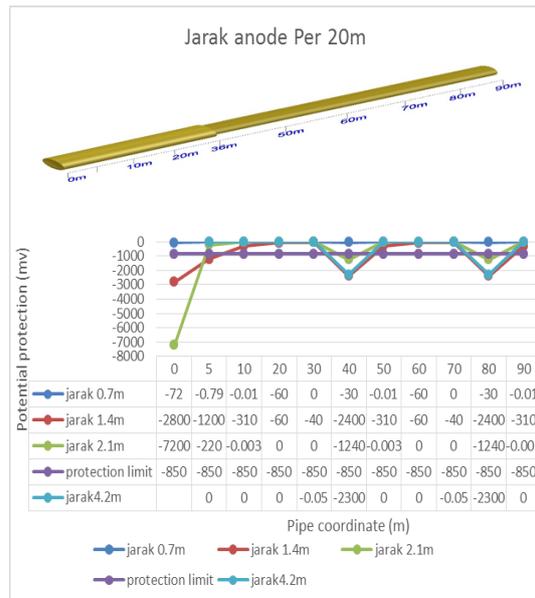
Dari hasil pemodelan gambar 5 didapatkan bahwa pipeline masih belum dapat terproteksi terhadap korosi. terproteksi terhadap korosi hanya pada titik pipeline ke 20 m (dua puluh meter) dan 40 m (empat puluh meter). Simulasi proteksi korosi grafik 4.6 tersebut dilakukan pada jarak anoda tiap 20 m (tiga puluh meter) dengan tiap pasang ICCP-SACP berdampingan pada variasi jarak 0,7 m (nol koma tujuh meter), 1,4 m (satu koma empat meter), 2,1 m (dua koma satu meter) serta 4,2 m (empat koma dua meter) Dari hasil pemodelan tersebut didapatkan bahwa pipeline masih belum dapat terproteksi terhadap korosi.



Gambar 5 Grafik penyebaran potensial proteksi katodik variasi jarak 30 meter

3.5.2 Variasi Anode Jarak 20 Meter

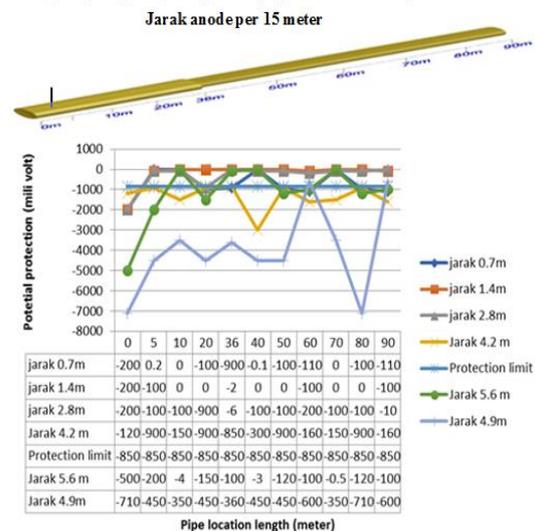
berdampingan pada variasi jarak 0,7 m (nol koma tujuh meter), 1,4 m (satu koma empat meter), 2,1 m (dua koma satu meter), serta 4,2 m (empat koma dua meter). Dari hasil pemodelan tersebut didapatkan bahwa pipeline masih belum dapat terproteksi terhadap korosi. Hal tersebut terbukti bahwa nilai penyebaran potensial yang paling optimal dialami oleh jarak pasang anoda 1,4 m (satu koma empat meter) namun tidak semua permukaan pipeline terproteksi atau masih jauh di atas batas potensial proteksi (min -850 mV). Permukaan pipeline yang terproteksi terhadap korosi hanya pada titik pipeline ke 0 m (nol meter) dan 5 m (lima meter). Sehingga pada variasi jarak ini belum dapat terproteksi dengan baik.



Gambar 6 Grafik penyebaran potensial proteksi katodik variasi jarak 20 meter

3.5.3 Variasi Anode Jarak 15 Meter

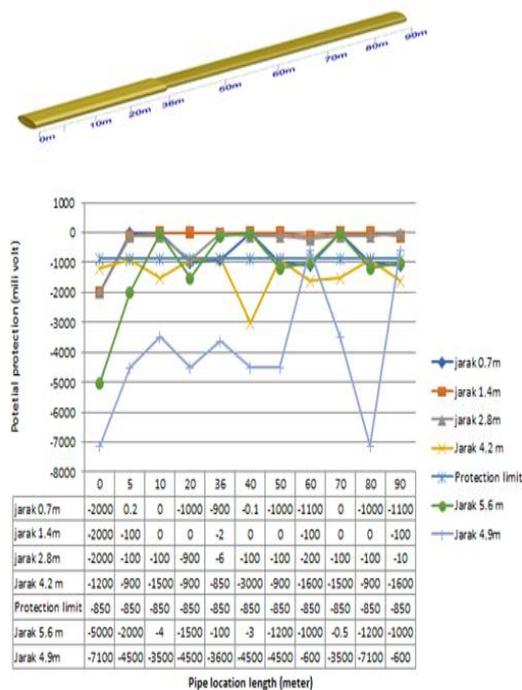
Pemodelan Gambar grafik 4.9 proteksi korosi diatas dilakukan pada jarak anoda tiap 15 m (lima belas meter) dengan tiap pasang jarak 0,7 m (nol koma tujuh meter), 1,4 (satu koma empat), 2,8 m (dua koma delapan meter), 4,2 m (empat koma dua meter), 4,9 m (empat koma sembilan meter) serta 5.6 m (lima koma meter) enam meter). Dari hasil pemodelan tersebut didapatkan bahwa pipeline belum dapat terproteksi terhadap korosi. Hal tersebut terbukti bahwa nilai penyebaran potensial yang dialami oleh pipeline pada jarak tersebut tidak memasuki batas potensial proteksi (min -850 mili volt). Permukaan pipeline yang hampir diproteksi dengan baik terhadap korosi tersebut dapat dicapai oleh variasi anoda pada jarak pasangan tiap 42 m (empat koma dua meter)



Gambar 7 Grafik penyebaran potensial proteksi katodik variasi jarak 15 meter

3.5.4 Variasi Anode Jarak 10 Meter

Hasil Pemodelan jarak anoda tiap 10 m (sepuluh puluh meter) ditunjukkan pada gambar grafik 4.10 proteksi korosi tersebut dilakukan dengan tiap pasang ICCP-SACP berdampingan pada variasi jarak 0,7 m (nol koma tujuh meter), 1,4 m (satu koma empat meter), 2,1 m (dua koma satu meter), serta 4,2 m (empat koma dua meter). Dari hasil pemodelan tersebut didapatkan bahwa *pipeline* dapat terproteksi terhadap korosi. Hal tersebut terbukti bahwa nilai penyebaran potensial yang paling optimal dialami oleh jarak pasang anoda 4.2 m (empat koma dua meter) yakni potensial di bawah nilai min -850 mili volt.



Gambar 7 Grafik penyebaran potensial proteksi katodik variasi jarak 15 meter

3.6 Kalkulasi Kebutuhan Biaya Proteksi Korosi Metode Cathodic Protection

Investasi merupakan kegiatan yang sangat diperlukan untuk memperoleh keuntungan, manfaat ataupun menghindari kerugian dimasa yang akan datang. Hal tersebut sejalan dengan penggunaan proteksi korosi pada konstruksi *pipeline* yang ada. Proyek *pipeline* berikut secara penuh menggunakan material baja karbon tipe API 5L dan berada dibawah tanah (*underground*) sehingga serangan korosi sangat rentan atau rawan terjadi. Untuk menghindari kerugian tersebut maka menggunakan proteksi korosi ICCP-SACP. Berdasarkan analisa teknis diatas maka perhitungan biaya variasi proteksi sangat diperhitungkan ialah sebagai berikut. Perencanaan biaya proteksi korosi SACP (*Sacrifice Anode Cathodic Protection*) hal tersebut ditunjukkan pada tabel 2 Perencanaan biaya proteksi proteksi korosi metode ICCP

(*Impressed Current Cathodic Protection*) ditunjukkan pada tabel 3 Perencanaan biaya proteksi korosi metode kombinasi (*Impressed Current Cathodic Protection Sacrifice Anode Cathodic Protection*) hal tersebut ditunjukkan pada tabel 4.

Tabel 2: Kalkulasi biaya proteksi korosi metode kombinasi SACP Tunggal

SACP					
	Description	Amount	Unit	Price	Amount x price
1	Prepackaged Mg anode Potensial alloy 7.7 Kg dimension of bare (3.5 W x 3.75 H x 25.75 L	17	Ea	1710000	29.070.000,-
2	Thermit Charge 15 gram	1	Ea	1800.000	1800.000,-
3	Thermo caps pre-primed	15	Ea	234000	3.510.000,-
4	CP Cable CU/XLPE	400	meter	72000	28.800.000,-
5	Cable lug ,densoline mastic (Permagum sealer)	1	Lot	18.000.000	18.000.000,-
6	Thermocaps pre-primed	50	Ea	234000	11.700.000,-
7	C-Bolt Connector, & spare	40	Ea	27000	1.080.000,-
8	Termit welder charge 20ea/box	3	box	1800000	5.400.000,-
9	Test point, Cast concrete	10	Ea	2250000	22.500.000,-
Subtotal mode SACP					121.860.000,-

Sedangkan biaya untuk penggunaan proteksi korosi metode ICCP tunggal ialah sebagai berikut dijelaskan pada tabel 3

Tabel 3: Kalkulasi biaya proteksi korosi metode kombinasi ICCP Tunggal

ICCP					
No	Material	need	Unit	Price (Rp)	Sub Total (Rp)
1	Outdoor type TRU 3 phase (30v-50 Hz) Made in Indonesia, Painted steel enclosure	1	Ea	32175000	32175000
2	Outdoor type - negative junction box equipped with common bus bar. Shunt and adjustable resistor from the anode cable tail	1	Ea	13500000	13500000
3	Positive outdoor type junction box equipped with common bus bar. Shunt and adjustable resistor from the anode cable tail	1	Ea	16100000	16100000
4	Test box, cast Aluminium head, terminal. Gesit p/n TB2-CAH-3T	2	Ea	198000	396000
5	Gesit CP cable, Cu/xlpe, 0.6/1kV, size : 1Cx 10 mm2 (for installation point cable)	100	meter	153000	15300000
6	References anode (cu/cuso4) electrodes for each test point. Cable. Gesit p/n -20y-	2	Ea	5400000	10800000
7	CP Cable negative & positive cable	100	meter	72000	7200000
8	MMO Coated Titanium 25 Dia * Length (mm)	17	Ea	15300000	261800000
9	Thermit Charge 15 gram	1	Ea	1800000	1800000
10	Warning tae, fine sand, bricks pipe for inactive well	1	Ea	36000000	36000000
Subtotal					563.371.000,-

Setelah mendapatkan biaya proteksi korosi metode tunggal SACP dan biaya metode tunggal ICCP maka tahap akhir ialah membandingkan biaya tersebut dengan biaya perlindungan proteksi kombinasi SACP-ICCP. Tinggi biaya proteksi kombinasi berada diantara biaya proteksi tunggal SACP dan biaya tunggal ICCP Namun meskipun demikian secara simulasi teknis perlindungan SACP tunggal saja belum dapat memproteksi *pipeline* terhadap korosi secara sempurna. Uraian

kalkulasi biaya dijelaskan pada tabel 4 di bawah ini.

Tabel 4: Kalkulasi biaya proteksi korosi metode kombinasi ICCP Tunggal

NO	Metode Kombinasi ICCP-SACP	Description	Amount	Unit	Price	Amount x price
1	Potensial	Prepackaged Mg anode alloy 7.7 Kg dimension of bare (3.5 W x 3.75 H x 25.75 L)	9	Ea	1710000	15.390.000,-
2		Thermit Charge 15 gram	1	Ea	1800.000	1800.000,-
3		Thermo caps pre-primed	15	Ea	234000	3.510.000,-
4		CP Cable CU/XLPE	400	meter	72000	28.800.000,-
5		Cable lug, densoline mastic (Permagum sealer)	1	Lot	18.000.000	18.000.000,-
6		Thermocaps pre-primed	50	Ea	234000	11.700.000,-
7		C-Bolt Connector, & spare	40	Ea	27000	1.080.000,-
8		Termit welder charge 20ea/box	3	box	1800000	5.400.000,-
9		Test point, Cast concrete	10	Ea	2250000	22.500.000,-
10		Outdoor type TRU 3 phase (30v-50 Hz) Made in Indonesia, Painted steel enclosure	1	Ea	32175000	32175000,-
11		Outdoor type - negative junction box equipped with common bus bar. Shunt and adjustable resistor from the anode cable tail	1	Ea	13500000	13.500.000,-
12		Positive outdoor type - junction box equipped with common bus bar. Shunt and adjustable resistor from the anode cable tail	1	Ea	16100000	16.100.000,-
13		Test box, cast Aluminum head, terminal. Gesit p/n TB2-CAH-3T	2	Ea	198000	396.000,-
14		Gesit CP cable, Cu/XLPE, 0.6/1kV, size : 1C x 10 mm2 (for installation point cable)	100	meter	153000	15.300.000,-
15		References anode (cu/cuso4) electrodes for each test point. Cable. Gesit p/n -20v-	2	Ea	5400000	10.800.000,-
16		CP Cable negative & positive cable	100	meter	72000	7200.000,-
17		MMO Coated Titanium 25 Dia * Length (mm)	8	Ea	15300000	122.400.000,-
18		Thermit Charge 15 gram	1	EA	1800000	1800.000,-
19		Warning tee, fine sand, bricks pipe for inactive well	1	Ea	36000000	36.000.000,-
		Subtotal				363.851.000,-

4. KESIMPULAN

- Jarak pemasangan tiap anoda sangat pengaruh terhadap kecukupan proteksi korosi jenis sacrifice anode cathodic protection dan impressed current cathodic protection yakni pada penyebaran potential proteksi. Jarak pemasangan tiap anoda yang sudah memenuhi yakni pada jarak tiap 15 meter dan pemasangan tiap pasang dengan jarak 4.9 meter.
- Jumlah anoda proteksi kombinasi sacrifice anode cathodic protection dan impressed current cathodic protection yang digunakan untuk melakukan proteksi korosi *pipeline* di bawah tanah sepanjang 90 meter dengan memperhatikan pengaruh kebocoran proteksi nya kepada tanah yakni sebanyak 9 anode SACP dan 8 tumbal ICCP yang dipasang tiap jarak 10 meter serta tiap pasang kombinasi dengan jarak 4.2 meter.
- Jumlah biaya yang digunakan untuk melakukan proteksi korosi *pipeline* sepanjang 90 meter metode sacrifice anode cathodic protection sebesar Rp

121.860.000,- dan impressed current cathodic protection Rp 563.371.000,- ,dan biaya kombinasi Rp 363.861000,-,Hal tersebut jauh lebih ekonomis jika dibandingkan dengan biaya kemungkinan yang terjadi akibat penggantian material pipa sebsar Rp464.041.000,- dan kemungkinan biaya kerugian pemberentian distribusi bahan bakar pesawat akibat penggantian pipa sebesar Rp139.751.730.000.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Tuhan Allah SWT yang telah memberi kita berkah untuk dapat selalu mempelajari pengetahuan dan dapat melakukan penelitian berikut. Terima kasih khusus kepada orang tua kami yang selalu mendukung secara moral dan material.

6. PUSTAKA

- Arrend.FR., "ICCP for development of optimum configuration system on ship using Scalatic Model," Ed 56 : 4. Germany: material and corrosion journal, 2005.
- Prasojo, Wismawati, and A. Yunan, "Analisa Laju Erosi dan Perhitungan Lifetime Terhadap Material Stainless Steel 304 , 310 , dan 321 pada Aliran Reject 1st Cleaner to 2nd Cleaner OCC Line Voith Unit SP 3-5 di PT . PAKERIN (Pabrik Kertas Indonesia)," 2rd ed., vol. 2. Surabaya: CPEAA, 2017, pp. 105–110.
- Endri, George, S. Daisy, dan S. Hamzah, "Perancangan Burried Pipe 12" Untuk Pengiriman Limbah Water Produce di PT Pertamina EP Tanjung Field," vol. I. Surabaya: CPEAA, 2017, pp. 43-47.
- Syawaladi, "Analisa Laju Korosi Pada sistem Perpipaan Bawah Tanah," vol. 5. Riau: APTEK, 2013, pp. 19-24.
- Gadala, I. M., M. Abdel Wahab, and A. Alfantazi, "Numerical simulations of soil physicochemistry and aeration influences on the external corrosion and cathodic protection design of buried pipeline steels," Ed 97. Matdes: Materials and Design, 2016, pp. 287-289.
- Hari. B, "Pengaruh Zeolait Terhadap Laju Korosi Pada Baja karbon Dalam Lingkungan Asam," Ed 3. Jogja: Jurnal Sains Dasar, 2014.
- Kartika, "Studi Karakteristik Laju Korosi Pelapisan Logam dan Alumunium," vol 6. Jakarta: Jurnal Teknik Mesin, 2017, pp.1
- Khambaita, P, F.Tieghe, F, "Corrosion," vol 3. United States: NACE, 1995.
- Arrend.FR, " ICCP for development of optimum configuration system on ship using Scalatic Model," Ed 56 : 4. Germany: Materials and Corrosion journal, 2015 , pp.4
- Puspitasari F., "Pengaruh Kebocoran Arus Akibat Sentuh Rebar Chamber pad Pipa yang Diproteksi Katodik Terhadap Kebutuhan Arus ICCP.," vol. III. Surabaya: CPEAA, 2018, pp. 201-206.