

ANALISIS SISTEM PROTEKSI KOROSI UNTUK PIPA PETROLEUM GAS, MATERIAL API-5L X52 (ϕ 20", Sch. 40, 8560m)

Mohamad Shochib, Maryanta
Fakultas Teknik, Universitas Gresik

ABSTRAK

Pipa under ground dan under water perlu diadakan perlindungan korosi dan yang sesuai adalah Proteksi Katodik. Korosi itu sendiri sesungguhnya tidak dapat dihentikan namun hanya bisa dicegah atau diperlambat lajunya.

Di Hess Indonesia Pangkah Ltd yang berlokasi di Manyar mensuplai Petroleum Gas ke PT. Pembangkitan Jawa Bali (PJB) di Gresik sepanjang 8560 meter menggunakan pipa dengan material API-5L X52 (ϕ 20", Sch. 40). Dari hasil pengukuran terjadi penurunan tegangan proteksi dibawah (-0,850 Volt DC). Maka kondisi ini perlu dilakukan penelitian dan analisis yang mendalam, agar pipa tidak terjadi korosi.

Kemudian diadakan penelitian dan perhitungan kembali desain yang terpasang adalah: Luas area yang diproteksi 670,29m², arus proteksi yang diperlukan 40,22 ampere, jumlah anode yang diperlukan 10,34 buah, maka berdasarkan besarannya tersebut desain telah sesuai dengan kebutuhan proteksi yang diperlukan, bahkan Panel Rectifier yang terpasang telah dinaikkan ke 125% dari perhitungan secara teoritis.

Setelah diadakan penelitian yang mendalam menggunakan metoda standard internasional, ditemukan pada pipa unit-2 adanya kebocoran arus sebesar 12 ~ 14 ampere pada Flange Isolasi IF-6 di Tie-In akhir pipa Hess yang menuju ke PJB yang berlokasi di area PJB Gresik. Agar sistem proteksi katodik kembali normal maka disarankan untuk melepas kabel jumper yang memisahkan proteksi pipa unit-1 dan pipa unit-2 dengan maksud untuk mengamankan pipa unit-1 sepanjang 8400 meter dan mengorbankan (sementara) pipa unit-2 sepanjang 160 meter tanpa proteksi katodik, sambil menunggu perbaikan selanjutnya.

Turunnya tegangan proteksi dibawah (-0,850 Volt DC) diakibatkan karena terjadinya hubung singkat (*short circuit*) di Flange Isolasi IF-6, maka dari hasil penelitian disarankan untuk memberikan proteksi tambahan secara terpisah pada pipa unit-2 yang terjadi *short circuit*.

Kata kunci: Pipa, korosi, katodik, proteksi

PENDAHULUAN

Hess Indonesia Pangkah Ltd, adalah sebuah perusahaan Minyak dan Gas Bumi. Korporasi Energi yang terpadu mencakupi *eksplorasi*, produksi dan kilang yang menghasilkan Minyak mentah (*Crude Oil*), LPG dan Gas.

1. Minyak mentah (*Crude oil*) setelah melalui proses pemisahan (*treater*) ditampung di Tanki Minyak Mentah dan secara berkala akan dijual ke pembeli menggunakan Kapal Tanker melalui dermaga pelabuhan Maspion menggunakan pipa 10" sepanjang 3500 meter.
2. LPG (*Liquefied Petroleum Gas*) merupakan gas hasil produksi yang komponen utamanya adalah *gas propane* (C₃ H₈) dan *butane* (C₄ H₁₀) yang dicairkan. Sementara itu, ELPIJI adalah merek dagang dari LPG yang dipasarkan oleh PERTAMINA kepada masyarakat sebagai kebutuhan atau penggunaan bahan bakar.
3. Gas yang lainnya adalah setelah melalui fasilitas proses akan langsung dikirim menggunakan pipa sepanjang 8560 meter material API-5L X52 (Diameter Ø 20", Sch. 40) dari Kawasan Industri Maspion di Manyar melewati jalur bawah laut dan bawah tanah ke PT. Pembangkitan Jawa Bali (PJB) di Gresik Jawa Timur.

KAJIAN TEORI

1. Dasar-dasar proteksi katodik

Korosi metal (*Metallic Corrosion*)

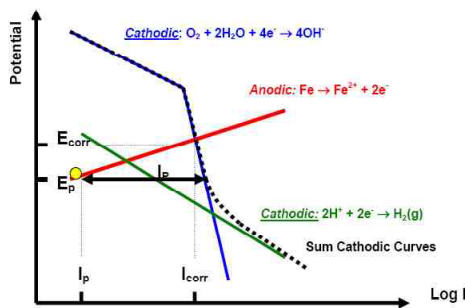
Korosi logam dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu korosi basah (*wet corrosion*) dan korosi kering (*dry corrosion*). Korosi basah disebabkan oleh kontak langsung antara permukaan logam dengan lingkungan korosif, misalnya air laut, tanah, atau elektrolit korosif lainnya. Sementara korosi kering terjadi bila permukaan logam untuk terkena ke atmosfer korosif atau atmosfer suhu tinggi. Korosi kering tidak dapat dicegah dengan menggunakan sistem perlindungan katodik.

Pada dasarnya, dalam proses korosi basah, akan ada banyak *sel galvanik mikro* pada permukaan logam. Hal ini dapat disebabkan oleh karakteristik logam yang berbeda (kimia / fisik), yang berbeda dari temperatur permukaan, dan berbeda konsentrasi oksigen pada elektrolit. Pada setiap *sel galvanik mikro*, akan ada bagian yang bertindak sebagai katoda dan anoda yang lainnya, di mana reaksi elektrokimia akan berlangsung secara terus menerus. Potensi bagian katoda menjadi lebih negatif, dan sebaliknya pada bagian anoda, karena itu arus *galvanic* akan mengalir dari bagian anoda ke katoda sebagai bagian *ion* logam, sesuai hukum *Faraday*. Di bagian lain, kata-kata yang bertindak sebagai anoda akan menjadi terkorosi. Sistem perlindungan katodik adalah metode untuk mencegah (menurunkan)

laju korosi dengan memasok arus DC arah terbalik terhadap arus korosi *galvanik*. Arus proteksi katodik akan mengalir dari material lain (bertindak sebagai bagian anoda) ke struktur logam yang dilindungi, oleh karena itu semua permukaan logam yang dilindungi seakan menjadi bagian katoda.

Secara umum, perlindungan yang lebih baik dapat dihasilkan jika struktur yang dilindungi memiliki lapisan yang baik, karena lapisan ini akan mengurangi luas permukaan struktur logam yang secara langsung kontak dengan elektrolit korosif. Oleh karena itu dapat mengurangi jumlah perlindungan yang dibutuhkan saat ini dan juga biaya.

Ada dua metode untuk memasok perlindungan saat ini, pertama dengan menggunakan Anoda Korban (*Sarificial Anode*) dan kedua dengan menggunakan Injeksi Arus DC (*Impression Current Cathodic Protection*).



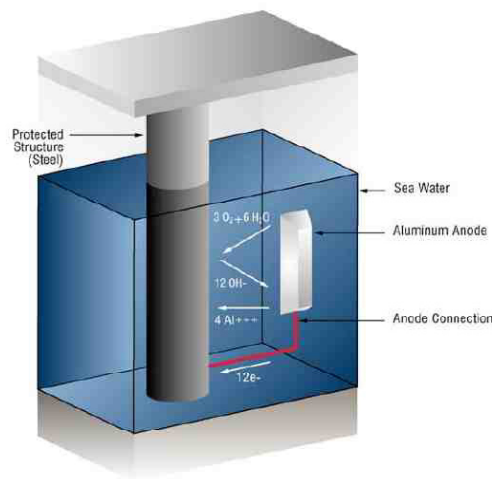
Gambar: Kurva Polarisasi Baja dalam lingkungan air netral

2. Sistem Anoda korban (*System Sacrificial Anode*)

Sistem anoda korban secara alami menghasilkan arus DC yang dihasilkan dari pasangan *galvanik* antara logam harus dilindungi dan anoda korban itu sendiri. Material yang akan digunakan untuk anoda korban adalah logam yang secara alami memiliki potensial yang lebih negatif

(lebih aktif), misalnya untuk melindungi struktur baja dapat menggunakan (1) *Magnesium alloy*, (2) paduan Aluminium, (3) paduan Seng. Anoda korban untuk terhubung langsung ke struktur baja dilindungi, baik dengan pengelasan, dibaut, atau menggunakan kabel, dan keduanya harus digabungkan ke dalam *elektrolit* yang sama.

Anoda korban (lebih *elektronegatif*) menjadi bertindak sebagai anoda dan akan dikonsumsi karena reaksi oksidasi logam menjadi *ion* (bentuk lebih lanjut tergantung pada jenis lingkungan). Reaksi ini akan digabungkan dengan reaksi reduksi pada permukaan baja yang dilindungi, yang menghambat / mengantarkan reaksi korosi sebelumnya. Massa anoda korban akan dikonsumsi untuk mencegah baja menjadi berkarat. Tingkat konsumsi anoda tergantung pada jenis paduan anoda, perbandingan luas permukaan aktif antara anoda dan struktur dilindungi, dan juga Kekorosifan lingkungan.

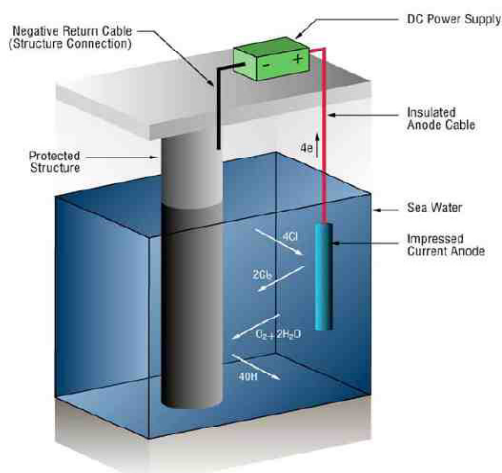


Gambar: Sistem proteksi pada *Sacrificial Anode Cathodic Protection*

3. Sistem Injeksi Arus DC (*System DC Impressed Current*)

Di dalam sistem *Impressed Current*, arus listrik disuplai dari

sumber daya DC eksternal, biasanya menggunakan transformator penyearah yang mengkonversi satuan daya input AC menjadi output DC yang disesuaikan dengan keperluan yang diinginkan. Sebagai bahan anoda biasanya menggunakan "inert" (non-consumable/low rate consumable material). Impressed current anode terhubung ke terminal positif unit penyearah transformator, sementara struktur pipa yang untuk dilindungi dihubungkan ke terminal negatif. Tegangan DC yang dari anoda ke surcafe struktur yang dilindungi melalui elektrolit. Saat ini ada beberapa tipe impressed current anode, misalnya high silicon chromecast iron, mixed metal oxide, lead silver, platinized titanium, dll. Seleksi jenis anoda arus cocok dengan kondisi struktur yang diproteksi dan juga lingkungan (elektrolit).



Gambar. Sistem proteksi Impressed Current Cathodic Protection

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan pada pipa Ø 20" schedule 40 sepanjang 8560 meter untuk mengirimkan Gas Petroleum dari Hess Indonesia Pangkah Ltd yang berlokasi di Kawasan Industri Maspion,

Jl. BetaMaspion, Manyar Gresik, sampai ke PT. Pembangkitan Jawa Bali (PJB) Jl. Harun Thohir Gresik, yang dilakukan pada Januari 2012.



Gambar : Lokasi Penelitian

Jenis Penelitian dan Permasalahan

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui permasalahan yang terjadi pada jalur pipa gas petroleum underground dan underwater material API 5L X 52 (Ø 20", Sch 40, 8560m dengan lapisan coating 3LPE) yang diproteksi menggunakan sistem ICCP (Impressed Current Cathodic Protection). Jalur pipa dari Hess Indonesia Pangkah di Manyar sepanjang 8650 meter menuju ke Hess Metering unit yang berlokasi di PT. PJB di Gresik pada saat ini tegangan proteksi minimalnya (-0,85 Volt DC) di poin akhir tidak tercapai, sehingga diperlukan pencarian penyebab masalah (troubleshooting).

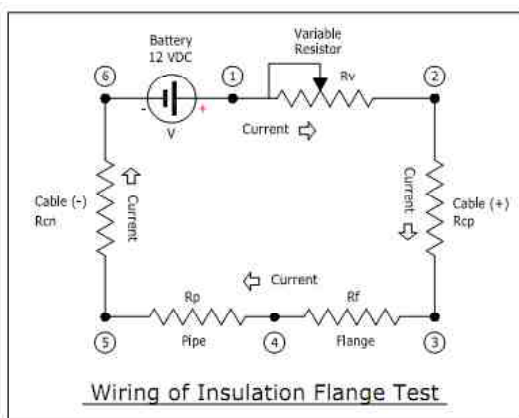
Sistem ICCP ini telah beroperasi dengan bagus sesuai desain selama lima tahun mulai Juni 2007 dan bekerja tanpa ada masalah yang berarti. Kemudian pada bulan Januari 2012 sewaktu dilakukan pengecekan rutin tiga bulanan, diketahui telah terjadi gangguan yang serius di

sistem ICCP sehingga kejadian ini dilaporkan ke *management* perusahaan. Sesuai prosedur maka *management* perusahaan mengeluarkan *Work Order* (perintah kerja) untuk menindak lanjuti kasus tersebut.

Masalah tersebut harus dilakukan pengecekan yang mendalam untuk mengetahui dimanakah terjadinya "SHORT" atau hubungan pendek apakah di pipa, *Insulation Flange*, atau penyebab lainnya yang mengakibatkan jalur pipa yang seharusnya terproteksi menjadi tidak terproteksi.

Metoda Pengecekan *Insulation Flange*

Untuk memverifikasi performance dari *insulation flange*, hal ini dapat dilakukan dengan pengujian dengan metoda "resistor" yang diinjeksikan menggunakan arus DC yang konstan dan kemudian diukur *voltage drop* / penurunan tegangan DC diantara *flange*. Resistansi dapat dihitung dengan membagi tegangan *drop* dengan arus injeksi. Semakin tinggi nilai resistansi akan menunjukkan kinerja *insulation flange* masih bagus, dan sebaliknya semakin rendah nilai resistansi akan menunjukkan kinerja *insulation flange* adalah jelek.



Gambar rangkaian pengujian *Insulation Flange*.

HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Data properties petroleum gas pipe line

1. Luas area yang akan diproteksi (m^2)
2. Arus proteksi yang diperlukan (Amper)
3. Jumlah *Anode* yang diperlukan (Set)
4. Tahanan Pentanahan / *Groundbed* ($\Omega.cm$)
5. Tahanan Kabel / *Cable resistance* (Ω)
6. Rugi tegangan kabel / *Cable voltage drop* (Volt)
7. Tegangan yang diperlukan untuk *Rectifier* (Volt)
8. Desain kapasitas *Rectifier* (Volt/Amper)
9. Distribusi potensial / *Attenuation calculation*
10. Diameter pipa 20"
11. Jenis isolasi 3LPE
12. Panjang pipa 8400 meter
13. Ketebalan pipa 11,9 mm
14. Kedalaman pipa dalam tanah -3 meter

1. Desain ICCP yang terpasang

a. Area yang akan diproteksi

Area yang akan diproteksi dapat dikalkulasikan sebagai berikut:

$$A = \pi \times D \times L \times C_b \text{ (Underground pipe line)}$$

Dimana:

A = Area yang akan diproteksi (m^2)

D = Diameter pipa luar (m)

L = Panjang pipa (m)

C_b = Estimasi *Final Coating breakdown* (5%)

$$A = \pi \times 0,508 \times 8400 \times 5\% = 670,29 \text{ m}^2$$

b. Arus proteksi yang diperlukan

Arus yang diperlukan untuk memproteksi pipa dapat dikalkulasikan sebagai berikut:

$$I_p = A \times Cd$$

$$Cd = Cd_{30} + Cd_{30} \times (T_p - 30) \times i / 10$$

Dimana:

I_p = Arus proteksi yang diperlukan
(Amper)

A = Area yang akan diproteksi (m^2)

Cd_{30} = Bare steel current density di
 $30^\circ C$ (20mA/ m^2)

i = Increment bare steel current
density di temp. $>30^\circ C$ (25% / 10C)

T_p = Rata-rata temperature di jalur
pipa ($^\circ C$)

Cd = Bare steel current density di
 $T_p^\circ C$ (mA/ m^2)

Hasil perhitungannya adlah sebagai
berikut:

$$Cd = Cd_{30} + Cd_{30} \times (T_p - 30) \times i / 10$$

$$= 0.030 + 0.030 \times 1 \times 1$$

$$= 0.060 \text{ mA/ } m^2$$

$$I_p = A \times Cd$$

$$= 670.29 \times 0.060$$

$$= 40.22 \text{ Amper}$$

c. Jumlah Anode yang diperlukan

Jumlah *Anode* yang diperlukan berdasarkan total arus proteksi yang diperlukan dan desain keluaran arus individu dari setiap *Anode*, dapat di formulakan sebagai berikut:

$$N = I \times SF / I_a$$

Dimana:

N = Jumlah *Anode* yang diperlukan
(Buah)

I = Total arus proteksi yang
diperlukan (Amper)

SF = Safety Factor (1.25)

I_a = Desain keluaran arus dari setiap
Anode (5 Amper)

Dan perhitungannya adalah sebagai
berikut:

$$N = I \times SF / I_a$$

$$= 41.35 \times 1.25 / 5$$

$$= 10.34$$

= Dibulatkan jadi 12 buah Anode

d. Tahanan Pentanahan / (Groundbed Resistance)

Anoda groundbed telah direncanakan untuk pemasangan secara berjejer (*parallel*) secara tegak lurus (*vertical*). Tahanan pentanahan pada *Groundbed* yang dipasang berjejer *vertical* dapat dikalkulasi menggunakan formula sebagai berikut:

$$R_a = \frac{P}{2\pi NL} \left\{ \ln \left(\frac{8 \times L}{D} \right) - 1 + \left(\frac{2 \times L}{S} \right) \ln (0.656N) \right\} \text{ (parallel shallow vertical)}$$

Dimana:

R = *Groundbed/Anode* ke tahanan tanah (Ω)

a = Tahanan tanah (dikedalaman
-3.0) (500 Ω -cm)

L = Panjang dari *Anode* (152,4 cm)

D = Diameter dari *Anode* (20 cm)

N = Jumlah *Anode* (12 buah)

S = Jarak diantara *Anode* (300 cm)

Perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$R_a = \frac{500}{2\pi \times 12 \times 152.4} \left\{ \ln \left(\frac{8 \times 152.4}{20} \right) - 1 + \left(\frac{2 \times 152.4}{30} \right) \ln (0.656 \times 12) \right\} = 0,227 \Omega$$

e. Tahanan Kabel (Cable resistance)

Tahanan kabel harus dikalkulasi menggunakan formula sebagai berikut: $R_{cn} = p_{cn} \times L_n$

Dimana:

R_{cn} = Tahanan kabel Kontrol (Ω)

p_{cn} = Tahanan kabel Konduktor
(Ω/m)

L_n = Panjang Kabel (m)

n = n1 untuk kabel dari *Rectifier* ke
pipe line (Main Negative)

p1 untuk kabel dari *Rectifier* ke *Anode Junction Box (Main Positive)*

p2 untuk kabel dari *Anode Junction Box* ke *Anode (Branch Positive)*

Kabel untuk *Rectifier (N)*, *Rectifier (P)* dan *Positive Junction Box* menggunakan ukuran kabel #4 (AWG), tahanan linier 0.833 (C/

km), kapasitas arus dalam tanah 85 Amper dan desain maksimum kabel 41.35 Amper

f. Rugi tegangan kabel (*Cable voltage drop*)

Rugi tegangan kabel dihitung berdasarkan resistansi kabel dan desain dari arus yang mengalir melalui kabel tersebut dapat dihitung sebagai berikut:

$$V_c = R_c \times I_c$$

Dimana:

$$V_c = \text{Kabel voltage drop (Volt)}$$

$$R_c = \text{Resistansi kabel } (\Omega)$$

$$I_c = \text{Desain arus yang mengalir (Amper)}$$

Hasil kalkulasi resistansi kabel dan tegangan drop dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V_c &= R_c \times I_c \\ &= 0.0008 \times 41.35 \\ &= 0.033 \text{ } (\Omega/\text{m}) \end{aligned}$$

g. Tegangan yang diperlukan untuk *Rectifier*

Tegangan DC yang diperlukan untuk panel *Rectifier* dapat dihitung sebagai berikut:

$$V = (I_a \times R_a) + V_c + V_b$$

Dimana:

$$V = \text{Tegangan DC Rectifier yang diperlukan (Volt)}$$

$$I_a = \text{Arus Groundbed Anode (Amper)}$$

$$R_a = \text{Resistant Groundbed Anode } (\Omega)$$

$$V_c = \text{Total voltage drop kabel (Volt)}$$

$$V_b = \text{Tegangan balik Anode (2.0 volt)}$$

Dan hasil perhitungannya sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V &= (I_a \times R_a) + V_c + V_b \\ &= (41.35 \times 0.227) + 6.84 + 2.0 \\ &= 18.20 \text{ volt} \end{aligned}$$

h. Desain kapasitas *Rectifier*

Desain tegangan DC dan kapasitas arus untuk panel *rectifier* dapat dikalkulasikan sebagai berikut:

$$VTR = V / UTR \text{ dan } ITR = I / UTR$$

Dimana:

$$VTR = \text{Desain dari kapasitas tegangan DC Transformer (Volt)}$$

$$ITR = \text{Desain dari kapasitas arus DC Transformer (Amper)}$$

$$V = \text{Tegangan DC Rectifier yang dibutuhkan (Volt)}$$

$$I = \text{Arus DC Rectifier yang dibutuhkan (Amper)}$$

$$UTR = \text{Faktor Utilisasi Transformer (0.80)}$$

Hasil perhitungannya sebagai berikut:

$$\begin{aligned} VTR &= V / UTR \\ &= 18.20 / 0.80 \Rightarrow 22.75 \text{ dibulatkan} \\ &\text{menjadi } 45 \text{ volt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ITR &= I / UTR \\ &= 40.22 / 0.80 = 50.275 \\ &\text{dibulatkan menjadi } 60 \text{ Amper} \end{aligned}$$

i. Distribusi potensial (*Attenuation calculation*)

Perhitungan distribusi dari potensial pipa (*attenuation*) dapat diselesaikan menggunakan formula sebagai berikut:

1) Resistant Pipa

$$r = \frac{\rho_p}{\pi \times t_p \times (OD_p - t_p)}$$

Dimana:

$$r = \text{resistant pipa } (\Omega \cdot \text{m}^{-1})$$

$$\rho_p = \text{resistant pipa linier } (0.18 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{m})$$

$$t_p = \text{minimum ketebalan pipa (0.00635 m)}$$

$$OD_p = \text{diameter luar pipa (0.5080 m)}$$

2) *Coating Conductance*

$$g = \frac{\pi \times \text{ODp}}{\omega}$$

Dimana :

r = pipe resistance ($\Omega \cdot \text{m}^{-1}$)

pp = linier pipe resistance
($0.18 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$)

tp = minimum pipe wall
thickness (0.00635 m)

ODp = pipe outside diameter
(0.5080 m)

3) *Attenuation Konstan*

$$\alpha = \sqrt{r \times g}$$

Dimana:

α = attenuation constant (m^{-1})

r = pipe resistance ($\Omega \cdot \text{m}^{-1}$)

g = coating conductance
($\Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$)

4) Karakteristik resisitant pipa

$$r_p = \sqrt{r/g}$$

Dimana:

r_p = pipe characteristic resistance (Ω)

r = pipe resistance ($\Omega \cdot \text{m}^{-1}$)

g = coating conductance ($\Omega^{-1} \text{ m}^{-1}$)

5) *Shifting* potensial pipa

$$\frac{E_n - E_a}{E_n - E_b} = \cosh(\alpha \times L_p)$$

Dimana:

E_n = pipe's potensial natural (-0.6
Volt, assumed)

E_a = pipe's natural nearest
to groundbed (-2.0 Volt,
maximum)

E_b = pipe's potential at end point
(Volt)

α = attenuation constant (m^{-1})

L_p = pipe's length (8560 m)

Batasannya:

→ $E_a \geq -2.00 \text{ V vs Cu/CuSO}_4$
(pipe's potential rearest to
groundbed/Drainage point)

→ $E_a \leq -0.85 \text{ V Cu/Cu SO}_4$
(pipe's potential at end point)

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil kalkulasi perhitungan dan pengecekan dapat disimpulkan dan diformulasikan sebagai berikut.

1. Desain dari *Impression Current Cathodic Protection* (ICCP) yang terpasang telah sesuai dengan standard proteksi yang dipakai sebagai acuan proteksi Katodik di Hess Indonesia Pangkah Ltd, bahkan telah dinaikkan ke 125% dari hasil perhitungan desain.
2. Masalah "short" di daerah PJB *Tie-In* disebabkan oleh "**rendahnya kinerja Insulating Flange**" di IF-6. Hal ini ditunjukkan dengan nilai arus yang melewati IF-6 (hasil pengujian) sebesar +/- 12 ~ 14 ampere dan resistansi yang sangat kecil yang dihasilkan dari pengujian, yaitu $\pm 0,09 \Omega$, kurang dari yang direkomendasikan oleh Standar ($> 10 \Omega$). Sebagai perbandingan, IF-5 (Hess Metering unit ke PJB).
3. Memiliki nilai resistansi yang jauh lebih tinggi sekitar 96Ω ($> 10 \Omega$). Karena semua *Insulating Sleeve* dan *Washer* telah dikonfirmasi bagus, tidak ada *short* antar pipa $\phi 20''$ yang dilindungi dengan struktur terdekat logam asing dibawah tanah, maka satu-satunya kemungkinan adalah *Insulation Flange*.

$$\text{Arus yang melewati IF- 6, } I = \frac{V}{R} = \frac{1,2}{0,09} = 13,33 \text{ ampere}$$

Saran

1. Untuk segera melepas jamper kabel di *Junction Box* 164-CPJB-04 untuk memisahkan antara pipa unit-1 (sepanjang 8400m yang masih terproyeksi dengan bagus) dengan

- pipa unit-2 (sepanjang 160m yang terjadi kebocoran arus ke PJB)
2. Masalah yang disebabkan oleh rendahnya kinerja *Insulating Gasket* di IF-6 (*Tie-in* PJB) harus diperbaiki dengan mengganti *Insulating Gasket* yang rusak. Bahan material dari *insulating gasket* yang baru harus *full face type E* (dengan lubang baut), sehingga posisi gasket akan tetap dan simetris. Bahan material gasket haruslah berkekuatan dielektrik tinggi (*high dielectric strength*), berkekuatan tekan tinggi (*high compressive strength*), dan penyerapan air rendah (*low water absorption*), sehingga tidak mudah terjadi kerusakan atau kegagalan.

NACE TM-4907 (2002): *National Association of Corrosion Engineers: Standard Test Methods: Measurement Techniques Related to Criteria for Cathodic Protection on Underground or Submerged Metallic Piping Systems.*

DAFTAR PUSTAKA

- BS. 7361 (1991, Formerly CP 1021): *British Standard: Part 1: Cathodic Protection code of practice for land and marine application*
- ISO 15589-1 (2003): *International Standard: Petroleum and Natural Gas Industries – Cathodic Protection of Pipeline transportation systems – Part 1: On-land Pipelines*
- NACE RP-0169 (2002): *National Association of Corrosion Engineers: Recommended practice: Control of external corrosion on underground or submerged metallic piping systems.*
- NACE RP-0177 (2000): *National Association of Corrosion Engineers: Mitigation of Alternating Current and Lightning Effect on Metallic Structures and Corrosion Control Systems*
- NACE RP-0502 (2002): *National Association of Corrosion Engineers: Recommended practice: Pipeline External Corrosion Direct Assessment Methodology.*