

## ANALISA KERUGIAN KALOR SERTA SISA UMUR OPERASI KERUSAKAN ISOLASI PIPA UAP INDUSTRI PROSES

**Hariyotejo Pujowidodo**

BTMP BPP Teknologi Puspiptek Serpong 15314

Email : h\_pujowidodo@yahoo.co.id

### Abstrak

*Kegiatan ini dilakukan untuk memperoleh hasil pemeriksaan lokasi terjadinya korosi permukaan pipa di bawah isolasi (CUI, Corrosion Under Insulation) pada jalur distribusi uap pada sebuah industri proses. Hasil tersebut digunakan sebagai acuan untuk tindakan perawatan untuk mendukung kelancaran proses (reliability). Pemeriksaan menggunakan teknik monitoring termal kamera Termografi Inframerah, sehingga didapatkan hasil berupa peta distribusi panas dan temperature dalam bentuk gambar termal (Thermogram/Thermal Imaging). Lokasi terjadinya kerusakan korosi ditunjukkan oleh kenaikan temperature signifikan relative terhadap normal operasi. Guna memperkuat estimasi diberikan analisa perhitungan kerusakan isolasi yang diakibatkan oleh perubahan dimensi/properties fisik dan termal yang mengakibatkan terjadinya kehilangan kalor (heat loss) dan berkurangnya umur operasi. Sehingga dapat menjadi langkah pencegahan yang diperlukan untuk menghindari kegagalan atau gangguan pada system proses.*

**Kata kunci:** korosi bawah insulasi, kehandalan, Thermogram, dimensi/properties kehilangan kalor

## 1. PENDAHULUAN

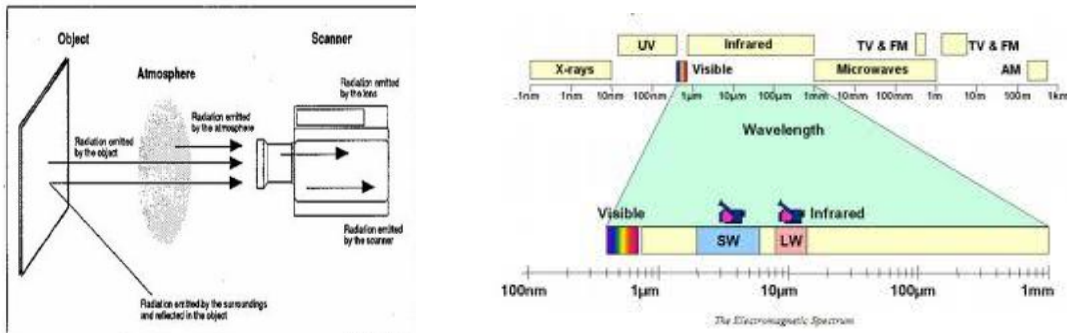
Kondisi material isolasi pipa uap sangat penting untuk diketahui sehubungan dengan fungsinya untuk menjaga energy panas uap yang dibutuhkan oleh proses dan mengurangi kehilangan biaya produksi akibat kehilangan panas. Di samping itu terjadinya penurunan kinerja isolasi, juga mempunyai akibat terhadap cacat permukaan lapisan logam pipa yang disebabkan oleh kerusakan korosi. Pengaruh kelembaban, oksidasi udara dan adanya material korosif akan mengakibatkan terjadinya kerusakan permukaan logam.

Kerusakan pada permukaan logam akan menimbulkan penipisan pada dinding material sehingga dapat mengganggu kondisi proses maupun faktor keselamatan. Pada umumnya cacat kerusakan permukaan akibat korosi pada pipa uap di industri proses, terjadi akibat berkurangnya kinerja isolasi/dan atau gangguan oleh media korosif lingkungan. Fenomena gangguan pada isolasi pipa uap dapat dideteksi melalui monitoring distribusi temperatur permukaan dengan alat pencitraan panas (*Thermal Imager/Thermography*).

Alat tersebut dapat memberikan hasil distribusi panas permukaan melalui visualisasi warna distribusi temperatur, sehingga dapat membantu untuk memeriksa kerusakan isolasi yang berpotensi menyebabkan kerusakan korosi pada permukaan logam pipa secara langsung tanpa mengganggu kondisi operasi dari proses.

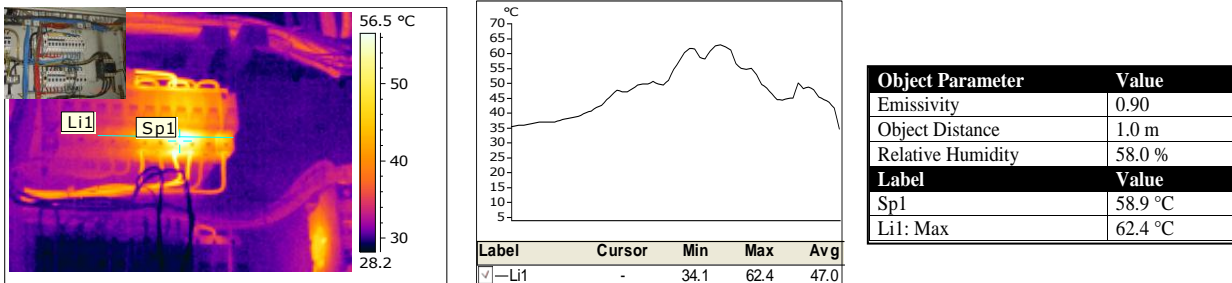
## 2. METODOLOGI

Perubahan karakteristik isolasi pada pipa uap, dapat diketahui melalui pengamatan secara langsung radiasi termal (gelombang elektromagnetik) permukaan luar oleh kamera inframerah, berupa visualisasi warna dan skala temperature. Deteriorasi isolasi akan mempengaruhi kondisi kerusakan permukaan pipa luar akibat korosi, yang ditunjukkan oleh perubahan temperature area lokal dan cacat fisik permukaan pelapis (*thermal jacketing*) sehingga media korosif dari lingkungan luar mudah terjadi kontak dengan permukaan logam.



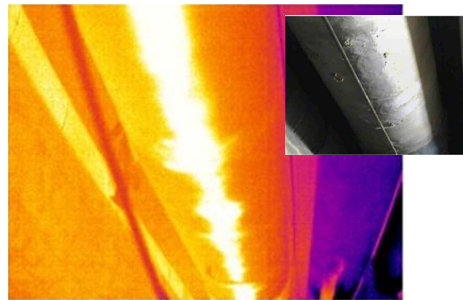
**Gambar 1. Prinsip Penginderaan Jauh dan Spektrum Gelombang Radiasi Termal**

Kemampuan teknologi peta distribusi temperature dalam gambar termal (*thermal imaging*), akan dimanfaatkan untuk mengetahui anomali panas (temperature) local yang terjadi. Selanjutnya hasil pemetaan seluruh kondisi isolasi pipa, dianalisa untuk memperoleh penyimpangan panas pada area yang dicurigai telah terjadi deteriorasi isolasi dan kerusakan akibat korosi di bawah isolasi (*Corrosion Under Insulation*).



**Gambar 2. Visualisasi Termal dan Profil Temperatur Area Anomali Lokal (*Hot Area*)**

Kerusakan isolasi pipa uap dapat mengakibatkan kerusakan pada permukaan logam pipa (*bare pipe*) karena proses korosi. Peristiwa korosi disebabkan oleh terjadinya reaksi elektrokimia oksidasi logam dengan oksigen dan medium korosif sebagai medium elektrolit, sehingga ion logam akan terlepas (tereduksi) menjadi logam oksida.



**Gambar 4. Degradasi Termal Kerusakan Korosi Bawah Isolasi (CUI)**

Perpindahan kalor dalam logam terjadi secara konduksi akibat perbedaan temperatur, melalui suatu ketebalan, area normal dan konstanta konduktivitas termal. Berdasarkan ketetapan Fourier secara umum fluks kalor  $\dot{Q}_n$  arah normal  $\eta$  permukaan isoterm dalam gradien temperatur negatif, dinyatakan dengan (Cengel, 2005) :

$$\dot{Q}_n = k \frac{\partial T}{\partial \eta} \tag{1}$$

Untuk geometri silindris pada pipa uap, laju kalor konduksi diperoleh melalui persamaan :

$$\dot{Q}_{Cond,Cyl} = 2\pi Lk \frac{T_1 - T_2}{\ln(r_2/r_1)} \tag{2}$$

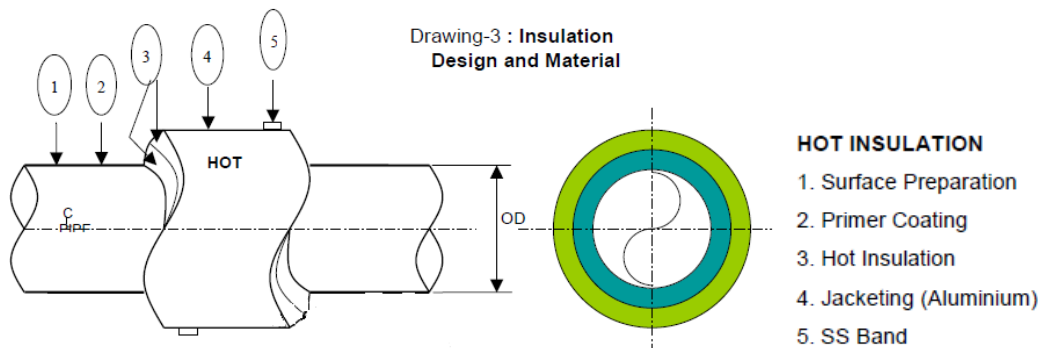
Penipisan ketebalan pada dinding pipa akibat korosi (API 570, 1998) dapat ditentukan besarnya laju korosi (*Corrosion Allowance, CA*) menurut korelasi :

$$CA = \frac{\text{kedalaman}, d}{\text{waktu operasi}, t} \tag{3}$$

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Geometri dan Spesifikasi Pipa Uap

Pipa untuk mendistribusikan fluida uap terbuat dari bahan *Carbon Steel Seamless* berukuran 6”, 8”, 10” *schedule* standard, 40 dan 80 dengan tekanan medium sebesar 17 kg/cm<sup>2</sup>. Sistem isolasi berasal dari bahan glasswool dan tertutup lapisan luar dari bahan aluminium (Sukamto, Arun NGL)

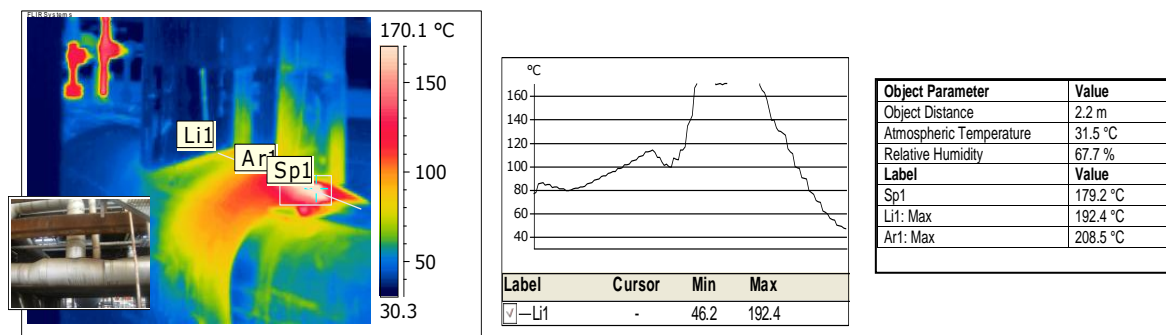


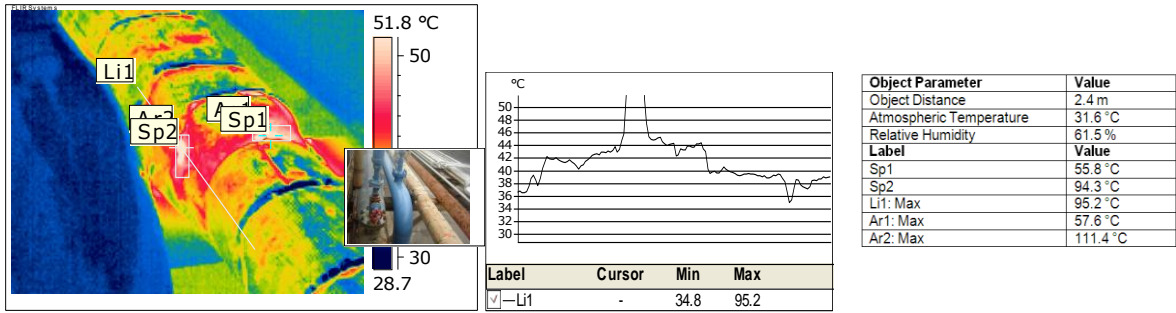
Gambar 7. Sistem Isolasi Pipa Uap

#### Monitoring Panas dan Investigasi Kerusakan Korosi Bawah Isolasi (CUI)

Hasil pendeteksian kegagalan isolasi dan pemeriksaan kerusakan korosi yang terjadi menunjukkan bahwa anomali termal ditunjukkan oleh area yang memberikan hasil distribusi panas temperatur lokal yang lebih tinggi dan terjadinya cacat fisik pada permukaan lapisan penutup luar (*outer jacketing*) akibat proses korosi. Akibatnya material isolasi akan mengalami kerusakan struktur dan menyebabkan berubahnya densitas.

Penentuan area yang mengalami kondisi kerugian kalor terbesar ditunjukkan oleh hasil analisa distribusi temperatur di mana terjadi panas tertinggi, sehingga menyebabkan deviasi temperatur terbesar terhadap acuan temperatur keamanan personal 58 °C. Besarnya kerugian kalor diprediksi melalui perpindahan kalor konduksi pada geometri silinder pada area terjadinya anomali.





**Gambar 8. Anomali Termal dan Deviasi Temperatur Degradasi Isolasi Pipa Distribusi Uap**

Untuk mengetahui besarnya kehilangan kalor, dievaluasi berdasarkan titik lokal terpanas (*Hot Spot*) sebagai ukuran kehilangan kalor pada satu *pixel* yang merupakan konversi dari parameter jarak kamera ke obyek dan bidang pandangan kamera (*Field of View, FOV*) serta sudut kamera (*Angle of View, AV*). Diasumsikan bahwa ketebalan isolasi adalah tetap namun kehilangan panas disebabkan karena perubahan densitas material isolasi akibat kerusakan. Hasil lengkap diberikan di Tabel 2 dalam lampiran

**Tabel 1. Hasil Analisa Sisa Umur Operasi Pipa Uap**

No.	Inspection Scope	PIPE		Hasil Pengukuran Tebal (mm)					Tingkat Kondisi		Analisa Deteriorasi		Evaluasi Deteriorasi		Perhitungan Laju Korosi			Remaining Life Service Life (years)
		SIZE (")	SCHED.	0°	90°	180°	270°	Design Sched.	Sched. Std.	Min. thik. Aktual	Thickness of Deposit (Scaling) (mm)	Depth of Erosion-Corrosion (mm)	Deviasi	Judgement	Lama Operasi (tahun)	CR (mpy)	CR (mm/y)	
Pipa	6	80	7.2	6.7	7.2	7.0	10.97	7.00	6.70	-	-3.77	34.4%	EROSI MEDIUM	28	(5.27)	(0.13)		
Elbow	6	80	7.3	7.0	7.3	7.4	10.97	7.00	7.00	-	-3.57	32.5%	EROSI MEDIUM	28	(4.99)	(0.13)	-	
Elbow	6	80	7.2	7.0	7.5	7.3	10.97	7.00	7.00	-	-3.47	31.6%	EROSI MEDIUM	28	(4.85)	(0.12)	-	
Pipa	6	80	7.5	7.9	7.4	7.5	10.97	7.00	7.40	-	-3.07	28.0%	EROSI RINGAN	28	(4.29)	(0.11)	3.67	
Pipa	6	80	7.4	7.2	7.4	7.3	10.97	7.00	7.20	-	-3.57	32.5%	EROSI MEDIUM	28	(4.99)	(0.13)	1.58	
Pipa	6	80	7.1	6.9	7.2	7.1	10.97	7.00	6.90	-	-3.77	34.4%	EROSI MEDIUM	28	(5.27)	(0.13)		
Elbow	6	80	7.8	7.5	7.5	7.6	10.97	7.00	7.50	-	-3.17	28.9%	EROSI RINGAN	28	(4.43)	(0.11)	4.44	
Elbow	6	80	7.1	7.1	7.2	7.6	10.97	7.00	7.10	-	-3.37	30.7%	EROSI MEDIUM	28	(4.71)	(0.12)	0.84	
Elbow	6	80	7.0	7.7	7.5	7.7	10.97	7.00	7.00	-	-3.27	29.8%	EROSI RINGAN	28	(4.57)	(0.12)	-	
Pipa	6	80	7.2	7.1	7.4	7.1	10.97	7.00	7.10	-	-3.57	32.5%	EROSI MEDIUM	28	(4.99)	(0.13)	0.79	
Elbow	6	80	7.1	7.8	7.3	7.9	10.97	7.00	7.10	-	-3.07	28.0%	EROSI RINGAN	28	(4.29)	(0.11)	0.92	
Elbow	6	80	7.4	7.3	7.3	7.2	10.97	7.00	7.20	-	-3.57	32.5%	EROSI MEDIUM	28	(4.99)	(0.13)	1.58	
Elbow	6	80	8.0	7.8	8.3	7.9	10.97	7.00	7.80	-	-2.67	24.3%	EROSI RINGAN	28	(3.73)	(0.09)	8.44	
Pipa	6	80	6.7	7.1	7.3	7.1	10.97	7.00	6.70	-	-3.67	33.5%	EROSI MEDIUM	28	(5.13)	(0.13)		
Pipa	6	80	7.2	7.0	7.2	6.7	10.97	7.00	6.70	-	-3.77	34.4%	EROSI MEDIUM	28	(5.27)	(0.13)		
Elbow	6	80	7.8	7.1	7.6	7.7	10.97	7.00	7.10	-	-3.17	28.9%	EROSI RINGAN	28	(4.43)	(0.11)	0.89	
Elbow	6	80	8.3	7.5	7.8	8.0	10.97	7.00	7.50	-	-2.67	24.3%	EROSI RINGAN	28	(3.73)	(0.09)	5.27	
Pipa	6	80	7.2	7.4	7.2	7.1	10.97	7.00	7.10	-	-3.57	32.5%	EROSI MEDIUM	28	(4.99)	(0.13)	0.79	
Pipa	6	80	8.3	8.3	7.7	7.7	10.97	7.00	7.70	-	-2.67	24.3%	EROSI RINGAN	28	(3.73)	(0.09)	7.38	
Pipa	6	80	7.5	8.0	-	8.8	10.97	7.00	-	-	-2.17	19.8%	EROSI RINGAN	28	(3.03)	(0.08)		
Elbow	6	80	9.2	8.1	8.9	7.8	10.97	7.00	7.80	-	-1.77	16.1%	EROSI RINGAN	28	(2.47)	(0.06)	12.73	
Elbow	6	80	8.8	8.3	9.4	8.3	10.97	7.00	8.30	-	-1.57	14.3%	EROSI RINGAN	28	(2.19)	(0.06)	23.32	
Elbow	6	80	8.2	9.2	8.9	9.4	10.97	7.00	8.20	-	-1.57	14.3%	EROSI RINGAN	28	(2.19)	(0.06)	21.53	
Elbow	6	80	8.1	8.5	8.7	8.3	10.97	7.00	8.10	-	-2.27	20.7%	EROSI RINGAN	28	(3.17)	(0.08)	13.65	
Elbow	6	80	8.2	8.8	8.6	8.2	10.97	7.00	8.20	-	-2.17	19.8%	EROSI RINGAN	28	(3.03)	(0.08)	15.57	
Elbow	6	80	8.3	8.5	8.6	8.3	10.97	7.00	8.30	-	-2.37	21.6%	EROSI RINGAN	28	(3.31)	(0.08)	15.45	
Pipa	6	80	8.1	8.4	8.4	8.6	10.97	7.00	8.10	-	-2.37	21.6%	EROSI RINGAN	28	(3.31)	(0.08)	13.07	
Tee	6	80	11.2	-	11.4	-	10.97	7.00	-	0.43	-	3.9%	DEPOSIT RINGAN	28				
Elbow	6	80	8.8	8.9	8.6	8.4	10.97	7.00	8.40	-	-2.07	18.9%	EROSI RINGAN	28	(2.89)	(0.07)	19.05	



**4. KESIMPULAN**

1. Visualisasi termal radiasi panas permukaan luar isolasi pipa uap dapat mengidentifikasi secara cepat area terjadinya kerusakan isolasi dan kerugian energi panas (kalor).
2. Kerugian kalor dapat diprediksi melalui deviasi temperatur pada area anomali dan melalui analisa luas pixel gambar.
3. Jumlah kalor yang hilang akibat kerusakan isolasi dengan temperatur lebih dari 58 °C adalah sebesar lebih dari 450 W/m<sup>2</sup>.
4. Sisa umur operasi dipengaruhi oleh sisa ketebalan aktual yang menunjukkan laju kerusakan korosi dan jumlah waktu operasi. Terdapat sisa umur operasi pipa di bawah satu tahun, akibat penipisan ketebalan yang membutuhkan tindakan perbaikan segera.

**DAFTAR PUSTAKA**

- API 570, *Piping Inspection Code*, American Petroleum Institute, 2<sup>nd</sup> edition, 1998, pp.7-1
- Babioan R., Treseder R.S., *NACE Corrosion Engineer's Reference Book*, NACE International, 3<sup>rd</sup> edition, Houston, 2002, pp. 104-106
- Cengel Y.A., *Heat Transfer A Practical Approach*, McGraw-Hill, 2005, pp. 64-146
- Sukanto, "Plant Aging and Life Extension Program at Arun LNG Plant Lhokseumawe, North Aceh, Indonesia." 2<sup>nd</sup> Annual World Gas Conference, June 1-5., pp.8