

ANALISIS EFEK GAS KOROSIF TERHADAP PROPAGASI RETAK MATERIAL CLADING (BAJA-TEMBAGA) UNTUK MATERIAL BEJANA TEKAN DENGAN METODE UJI RING - C¹⁾

Yosrihard Basongan²⁾

Abstrak: Bejana tekan digunakan untuk menyimpan fluida bertekanan pada rentang waktu tertentu. Efek fluida bertekanan di dalam bejana dapat mengakibatkan kegagalan bejana, efeknya dapat berupa korosi abrasi yang merusak permukaan dalam bejana. Korosi abrasi akan merambat dan dipercepat oleh tekanan dalam bejana. Material *clading* dimaksudkan untuk meminimumkan efek korosi yaitu dengan memadukan material induk yang dilapisi dengan lapis pelindung. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui efek gas Lpiji korosif terhadap Intensitas tegangan dan perambatan retak bejana tekan. Pengujian yang dilakukan yaitu uji tarik dan uji perambatan retak korosi dilakukan masing-masing 60, 120, 180, 240 hingga 300 hari pada tekanan 16,48 Mpa. Metode uji intensitas tegangan dan perambatan retak dengan uji **ring-C**. Material uji baja karbon dengan kuat tarik 397,8. Mpa Material pelapis tembaga dengan tegangan tarik 326 Mpa. Kuat tarik clading yang dibuat dengan tegangan tarik 380,8 Mpa. Hasil dianalisa Two-Way Classification menunjukkan Koefisien korelasi antara elastisitas dengan waktu proses korosi (hari) = -0,941 , antara elastisitas dengan posisi takik (takik) = -0,053. Adapun kontribusi faktor intensitas tegangan kritis retak korosi (korosi) terhadap waktu proses korosi (hari), posisi takik (takik), yaitu sebesar 0,825. Tekanan dan lamanya material clading dalam Lpiji menyebabkan propagasi retak terlihat dengan menurunnya intensitas tegangan dan kuat tarik material clading.

Kata Kunci: *clading*, ring-c, intensitas tegangan, retak kritis.

I. PENDAHULUAN

Salah satu bentuk kegagalan material yang fatal ialah perpatahan, perpatahan ini dapat diawali dengan deformasi yang teramati, namun juga dapat tidak teramati adanya deformasi material mengalami perpatahan. Kegagalan suatu komponen logam terjadi akibat adanya cacat, baik yang sudah ada dalam bahan maupun terbentuk dalam masa pakai komponen. Menurut KR. Trethewey dan J.Chamberlain (1991) cacat atau retak (crack) yang ada pada material dapat berperan dalam proses terjadinya kegagalan. Kegagalan terjadi dua fase yang sangat berbeda adalah fase pemicuan (initiation) yaitu adanya retak awal dan fase pertumbuhan (propagation) retak tersebut.

¹ Penelitian Fundamental tahap II tahun DP2M Dikti Tahun 2009

² Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang

Kerusakan setempat pada lapisan permukaan terjadi terlebih dahulu, disusul dengan terbentuknya lubang (pit) korosi, dan retak berawal di akar lubang. Begitu telah dimulai, retak mungkin menjalar entah dengan cara mekanik (pembebanan) korosi (lingkungan), atau gabungan keduanya. Kecepatan penjaralan (propagasi) retak dengan cara pembebanan yang tergantung pada sifat bahan yaitu, bahan yang rapuh kecil ketahanannya terhadap pertumbuhan retak saat beban yang diizinkan diberikan.

Bila beban melebihi dari batas yang diizinkan, retak akan menjalar dengan cepat hingga terjadi kegagalan. Faktor lingkungan juga berpengaruh terhadap pertumbuhan retak jika material mempunyai waktu kontak yang cukup dengan lingkungan yang korosif seperti air laut, bahan kimia, bahan bakar, kelembaban, dan gas yang tertinggal. Dalam industri perminyakan dan gas yang paling banyak menimbulkan korosi adalah fluida reservoir yang korosif mengandung Sulfur, merkuri, H₂S, CO₂, Nitrogen dan unsur garam.

Menurut survey yang dilakukan Mash & Mc Lenon (lingkup dunia), (Forum Ilmiah Puspitek dan Indocor: 1997) mengategorikan jenis atau unit peralatan komponen yang rusak pada sistem pemipaan, tabung (tangki) dan reaktor, karena kegagalan mekanis dan korosi yang terjadi di lingkungan kimia dan industri minyak dan gas.

Kerusakan mekanis didominasi oleh kelelahan (fatigue), masing-masing untuk industri kimia 45 % dan industri minyak dan gas 53 % dan kerusakan akibat korosi, masing-masing untuk industri kimia 55 % dan industri minyak dan gas 33%.

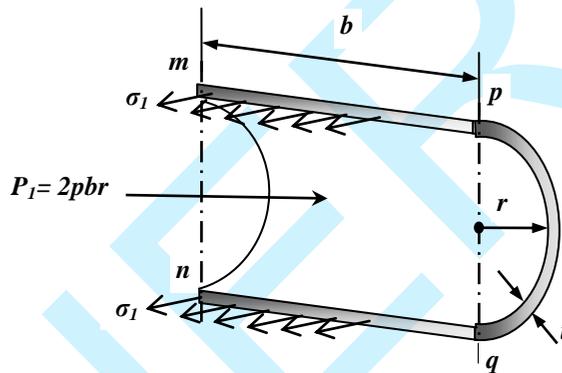
Untuk meminimumkan laju korosi dapat dilakukan dengan menggunakan bahan yang resisten terhadap korosi. Metode perlindungan yang dapat dilakukan yaitu lapis padu metal (*metal cladding*). Menurut Sri Widharto (2001) *Metal cladding* dilaksanakan dengan memadukan antara material induk yang dilindungi dengan lapis pelindung berupa metal dengan cara memanaskan kemudian ditekan bersama (*press*) sehingga keduanya lekat satu dengan yang lainnya.

Tinjauan Pustaka

Komposit terdiri dari dua atau lebih komponen yang menyatu menjadi satu bahan. Termasuk dalam kelompok ini: yaitu bahan yang diberi lapisan, bahan yang diperkuat dan kombinasi lain yang memanfaatkan sifat khusus beberapa bahan yang ada. Sifat bahan yang menyatu dalam komposit dapat dievaluasi dan diuji secara terpisah. Hal ini mengarah ke penyusunan kaidah campuran sehingga sifat komposit ini dapat dihitung berdasarkan sifat komponennya. Keistimewaan bahan komposit dibanding material konvensional yaitu kuat, kaku, ringan, memiliki ketahanan korosi serta tahan terhadap beban dinamis. Material dasar pembentuk komposit yaitu material konvensional seperti logam, polimer, kayu dan keramik.

Komposit Lapisan terdiri dari sekurang-kurangnya dua material yang berbeda, yang terbentuk oleh ikatan dari material-material penyusunnya secara bersama-sama. Pelapisan ini dilakukan untuk menggabungkan sifat-sifat baik dari lapisan-lapisan penyusunnya untuk meningkatkan daya guna dari material. Sifat-sifat yang dapat

ditingkatkan dengan pelapisan adalah kekuatan, kekakuan, pengurangan berat, ketahanan korosi, estetika material, ketahanan pemakaian. *Metal cladding* merupakan pelapisan logam yang penerapannya dilaksanakan dengan memadukan antara material induk yang dilindungi dengan lapis pelindung berupa logam dengan cara memanaskan keduanya kemudian memadukannya menjadi satu lapisan padu yang lekat satu dengan yang lainnya. Sebagai contoh paduan aluminium kekuatan tinggi tidak mempunyai ketahanan terhadap korosi, sedangkan aluminium murni dan beberapa paduan aluminium sangat tahan korosi. Sehingga paduan aluminium kekuatan tinggi dilapisi dengan paduan aluminium yang tahan korosi membentuk material komposit dengan keuntungan material tersebut mempunyai sifat yang lebih khusus dan bentuk lebih menarik dari material penyusunnya. Tabung tekan adalah struktur tertutup yang mengandung cairan atau gas yang mengalami tekanan. Potongan m-n dan p-q tegak lurus sumbu longitudinal



Gambar 1. Diagram Benda Bebas Potongan Sumbu Longitudinal

Tegangan melingkar σ_1 yang bekerja pada silinder mempunyai resultan:

$$\sigma_1 = 2bt$$

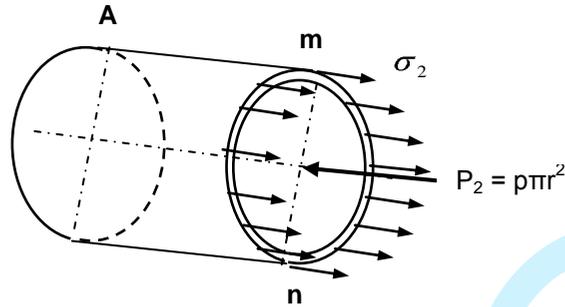
Gaya resultan P_1 dari tekanan internal adalah:

$$P_1 = 2pbr$$

$$\sigma_1 (2bt) - 2pbr = 0$$

$$\sigma_1 = \frac{pr}{t}$$

Tegangan ini terdistribusi merata di seluruh tebal dinding, asalkan tebal tersebut jauh lebih kecil dibandingkan radiusnya.



Gambar 2. Tegangan Tabung Tekan Silindrikal

Tegangan σ_2 bekerja dalam arah longitudinal dan mempunyai gaya resultan :

$$\begin{aligned} \sigma_2 &= 2\pi r t \\ P_2 &= p\pi r^2 \\ \sigma_2 (2\pi r t) &= p\pi r^2 \\ \sigma_2 &= \frac{pr}{2t} \end{aligned}$$

Solusi dari faktor intensitas tegangan pada tabung silinder, oleh Raju dan Newman (1983) menghasilkan $K = \frac{C\sigma_H\sqrt{\pi a}}{\Phi}$, Untuk $W \gg c$, maka nilai C tergantung hanya pada perbandingan a/c , a/t dan Φ , dengan membuat model retak.

Retak dalam tabung tekan dengan tekanan dalam akan beraksi juga pada permukaan retak selain tegangan keliling, menurut Ewalds, H.L dan Wanhill R.J.H (1985) diperoleh:

$$K_1 \sigma_H = \frac{C\sigma_H\sqrt{\pi a}}{\Phi}$$

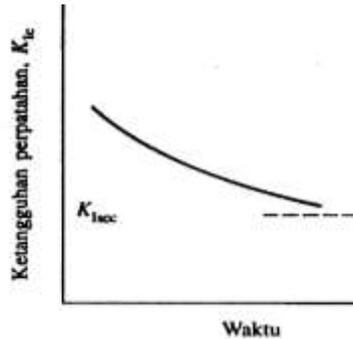
Dengan, $P r_i / t = \sigma_H$ (tegangan keliling); P = tekanan dalam tabung tekan (MPa); r_i = jari-jari tabung (cm); t = tebal tabung (cm).

$$K_1 P = \frac{CP\sqrt{\pi a}}{t\Phi}$$

$$K_1 \text{ maks} = K_1 \sigma_H + K_1 P = \frac{CP \left[1 + \frac{r_i}{t} \right] \sqrt{\pi a}}{\Phi}$$

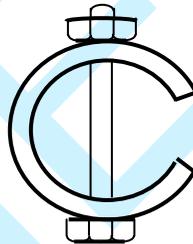
Menurut Fontana (1987). Hampir semua lingkungan bersifat korosif dengan beberapa tingkatan. sebagai contoh udara dan kelembaban, uap dan gas (klor, ammonia, sulfida hidrogen, sulfur dioksida dan bahan bakar gas), mineral asam (hydrochloric, sulfuric dan nitric), asam organik (naphtenic, acetic, dan formic), alkali, tanah, solvent (pelarut), dan industri perminyakan.

Semua material bisa menampakkan perpatahan yang tertunda dalam lingkungan korosif. Sebaliknya korosi material lebih cepat ketika diberi tegangan, gambar 4 memperlihatkan waktu putus dari material sebagai fungsi dari tegangan, dengan atau tanpa adanya pelarut organik.



Gambar 3. Waktu Perpatahan. Nilai K_1 turun dengan waktu dalam lingkungan korosif. K_{ISCC} yaitu faktor intensitas tegangan kritis untuk retak korosi

Uji Ring C



Gambar 4. Specimen uji ring-C

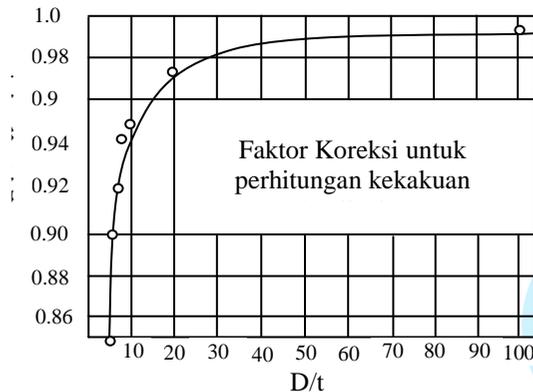
$$OD_f = OD - \Delta \text{ atau } \Delta = \frac{f \times D^2}{4ELZ}$$

Dengan: Δ = Defleksi; f = Beban; OD = Diameter luar; t = Tebal specimen;
 D = Diameter rata-rata ($OD - t$); E = Modulus Elastisitas:

$$E = \frac{f \times \pi \times D^2}{4 \times \Delta \times B \times Z}$$

Dengan: Z = Konstanta (Fungsi dari D/t , gambar 15); OD_f = Diameter luar

$$\text{Dengan nilai } K = \frac{4EZ}{\pi}, \text{ dan } \Delta = \frac{fD^2}{Kt}$$



Gambar 5. Grafik Faktor Koreksi Perbandingan D/t Kekakuan Pengujian Ring C

II. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilakukan di Bengkel dan Laboratorium Mekanik Politeknik Negeri Ujung. Bahan yang digunakan sebagai material tabung cladding, terdiri dari bahan induk baja, bahan lapis pelindung tembaga, dan media korosi gas Lpiji.

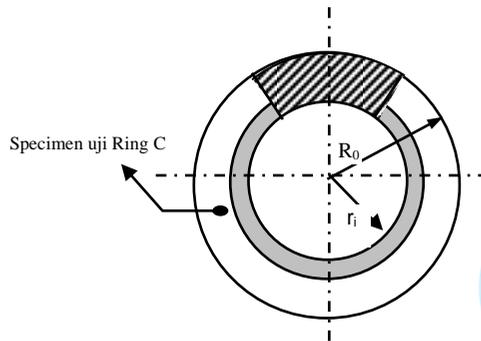
Urutan proses pembuatan tabung cladding dilakukan sebagai berikut: Bahan induk dari pipa baja karbon berdiameter luar 108 mm, dipotong panjang 200 mm, diameter dalam dibubut yang disesuaikan dengan diameter luar dari pipa tembaga. Pada bagian yang akan dijadikan spesimen uji diberi takik masing-masing sesumbu dengan tabung (arah longitudinal) dengan notasi H, arah melintang (transversal) diberi notasi V, dan tidak ditakik diberi notasi N. Setelah selesai pembuatan tabung cladding selanjutnya diisi dengan gas elpiji dengan tekanan di bawah tegangan luluh (σ_y) material cladding, kemudian tabung dibiarkan terkorosi selama selang waktu sesuai dengan waktu yang telah ditetapkan.

Pengambilan data dilakukan dengan terlebih dahulu kuat tarik material cladding yang telah dibuat untuk mengetahui tegangan luluh (σ_y), tegan elastisitas luluh (σ_y) material cladding yaitu (σ_y) = 252.26 Mpa (hasil penelitian tahap I), sehingga tekanan yang digunakan untuk mengisi tabung dihitung dengan menggunakan persamaan $P = \sigma_y \cdot t / r$, dengan $r = 46$ mm; tebal $t = 8$ mm, tekanan pengisian tabung $P = 43.87$ Mpa. Lama uji korosi masing-masing tabung I = 60 hari; II = 120 hari; III = 180 hari; IV = 240 hari; V = 300 hari, dan tanpa perlakuan korosi

Setelah 60 hari tabung tekan I dilepas, dan dilakukan pemeriksaan visual. Hal yang sama dilakukan pada tabung tekan II, tabung tekan III, tabung tekan IV, tabung tekan V, dan tabung tanpa perlakuan korosi.

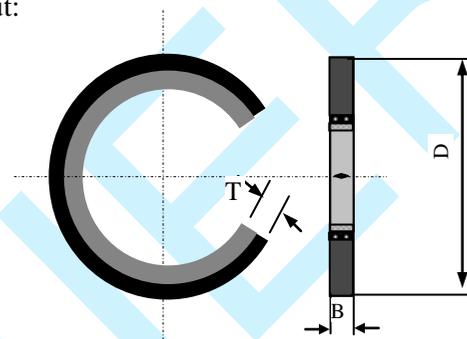
Spesimen uji mekanis dari tabung cladding I 60 hari terdiri dari: spesimen tanpa takik (N), takik arah transversal (V), dan takik arah longitudinal (H), begitu juga dengan tabung cladding. II, III, IV, V, dan tabung tanpa perlakuan korosi.

Pengambilan spesimen seperti gambar berikut:



Gambar 6. Penampang Tabung Clading dan Bagian Penampang sebagai Sampel Uji Ring C

Bentuk spesimen uji yang dibuat yaitu spesimen uji lentur dan spesimen uji ring C seperti gambar berikut:



Gambar 7. Spesimen uji Ring C

Hasil uji ring C, data yang didapatkan ini diolah lebih lanjut sehingga dapat diketahui besaran elastisitas (E), faktor intensitas tegangan (K), dan factor tegangan kritis (K_t). Agar dapat diketahui pengaruh variable-variabel yang satu dengan yang lainnya, maka data yang didapatkan selanjutnya dianalisis statistik dengan menggunakan metode klasifikasi dua kriteria *Two-way Clasifikation* dengan menerapkan program SPSS.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hasil pengamatan uji Ring C

Setelah uji Ring C didapatkan data-data hasil pengujian kemudian ditabelkan sebagai berikut:

Tabel 1. Tabung tidak terkorosi

NO	f (N)	(NN)	(NV)	(NH)
		Δ (mm)		
1	40	0.08	0.06	0.12
2	120	0.54	0.46	0.41
3	200	0.56	1.04	1.12
4	280	1.34	2.45	1.25
5	360	2.50	2.64	2.24
6	440	3.05	3.14	3.18
Rata-rata	240	1.35	1.63	1.39

Tabel 2. Tabung terkorosi 60 hari

NO	f (N)	Δ (mm)		
		NN	NV	NH
1	40	0.04	0.06	0.06
2	120	0.47	0.31	0.72
3	200	2.83	2.08	1.02
4	280	3.98	2.73	2.50
5	360	4.70	3.28	3.12
6	440	5.32	4.19	5.59
Rata-rata	240	2.89	2.11	2.17

Tabel 3. Tabung terkorosi 120 hari

NO	f (N)	(NN)	(NV)	(NH)
		Δ (mm)		
1	40	0.06	0.04	0.06
2	120	0.28	1.02	0.88
3	200	2.12	2.70	2.03
4	280	2.43	4.40	3.08
5	360	3.06	5.02	3.39
6	440	4.02	6.98	4.08
Rata-rata	240	2.00	3.36	2.25

Tabel 4. Tabung terkorosi 180 hari

NO	f (N)	(NN)	(NV)	(NH)
		Δ (mm)		
1	40	0.08	0.10	0.10
2	120	0.48	0.71	0.39
3	200	1.18	1.18	2.56
4	280	1.98	1.64	3.03
5	360	2.42	2.10	3.47
6	440	3.01	3.30	4.05
Rata-rata	240	1.53	1.51	2.27

Tabel 5. Tabung terkorosi 240 hari

NO	f (N)	(NN)	(NV)	(NH)
		Δ (mm)		
1	40	0.08	0.25	0.14
2	120	0.14	0.12	0.15
3	200	1.38	1.03	1.38
4	280	2.16	1.41	2.16
5	360	3.35	2.73	3.17
6	440	4.43	3.25	4.19
Rata-rata	240	1.92	1.47	1.87

Tabel 6. Tabung terkorosi 300 hari

NO	f (N)	(NN)	(NV)	(NH)
		Δ (mm)		
1	40	0.07	0.40	0.44
2	120	1.06	0.94	0.94
3	200	1.53	1.24	1.25
4	280	2.28	1.63	1.98
5	360	2.82	1.70	2.38
6	440	3.52	1.93	2.75
Rata-rata	240	1.88	1.31	1.62

Hasil hitung data pengamatan

Faktor intensitas Tegangan (K) dan faktortegangan kritis retak korosi (Kt) tabung tidak terkorosi

Tabel 7. Tabel hasil Ring C tabung tidak dan terkorosi perbandingan diameter dengan tebal specimen (Z)

NO	ODf = OD - Δ (mm)			Z		
	NN	NV	NH	NN	NV	NH
1	113.54	113.59	114.00	0.95	0.95	0.97
2	112.96	112.88	114.00	0.95	0.95	0.97
3	111.55	112.75	114.00	0.95	0.95	0.97
4	111.36	111.76	114.00	0.95	0.95	0.97
5	110.86	110.82	114.00	0.95	0.95	0.97
6	112.37	112.61	114.00	0.95	0.95	0.97
Rata-rata	112.11	112.40	114.00	0.95	0.95	0.97

Tabel 8. Tabel hasil Ring C (ODf) tabung tidak terkorosi Elastisitas (E)

NO	E = (f*π*D ²)/(4*Δ*B*Z) (Mpa)		
	NN	NV	NH
1	227493.07	303613.21	149840.04
2	101146.58	118556.35	133069.05
3	158218.85	87180.79	81187.96
4	92230.44	50835.60	101842.18
5	62946.50	59562.08	73069.16
6	64924.17	63359.71	62907.90
Rata-rata	117826.60	113851.29	100319.38

(ODf)= D= Diameter rata-rata; (Z) = perbandingan diameter; (B) = lebar i; (Δ) = defleksi.

Tabel 9. hasil Faktor intensitas Tegangan

NO	K = (4*E*Z) / Π (MPa √a)		
	NN	NV	NH
1	275310.09	367430.00	185152.67
2	122406.68	143475.84	164429.27
3	191475.04	105505.41	100321.43
4	111616.46	61520.79	125843.20
5	76177.29	72081.49	90289.29
6	78570.65	76677.35	77733.33
Rata-rata	142592.70	137781.81	123961.53

Tabel 10. hasil Faktor (K) tegangan kritis retak korosi (Kt)

NO	Kt = (f*D^2) / Δ (MPa √a)		
	NN	NV	NH
1	5506201.80	7348600.07	3703053.33
2	2448133.69	2869516.80	3288585.37
3	3829500.89	2110108.17	2006428.57
4	2232329.17	1230415.73	2516864.00
5	1523545.86	1441629.87	1805785.71
6	1571412.97	1533547.07	1554666.67
Rata-rata	4782083.76	2764603.92	2492426.88

Faktor intensitas Tegangan (K) dan faktortegangan kritis retak korosi (Kt) tabung terkorosi 60 hari.

Tabel 11. hasil Ring C tabung tidak terkorosi (ODf) dan perbandingan diameter dengan tebal specimen (Z)

NO	ODf = OD - Δ (mm)			Z		
	NN	NV	NH	NN	NV	NH
1	113.96	113.94	113.94	0.95	0.95	0.96
2	113.53	113.69	113.28	0.95	0.95	0.97
3	111.17	111.92	112.98	0.95	0.95	0.97
4	110.02	111.27	111.50	0.95	0.95	0.97
5	109.30	110.72	110.88	0.95	0.95	0.97
6	108.68	109.81	108.41	0.95	0.95	0.97
Rata-rata	111.11	111.89	111.83	0.95	0.95	0.97

Tabel 12. I hasil Ring C) tabung tidak terkorosi Elastisitas (E)

NO	E = (f*Π*D^2)/(4*Δ*B*Z) (Mpa)		
	NN	NV	NH
1	458635.41	305640.87	302457.11
2	116144.54	176627.53	73899.94
3	30718.52	42408.36	86443.50
4	29897.73	44668.21	47986.24
5	32090.73	47289.67	48842.43
6	34225.65	44442.81	31729.04
Rata-rata	116952.10	110179.58	98559.71

(ODf)= D= Diameter rata-rata; (Z) = perbandingan diameter; (B) = lebar i; (Δ) = defleksi.

Tabel 13. Tabel Faktor intensitas Tegangan (K)

NO	K = (4*E*Z) / Π (MPa √a)		
	NN	NV	NH
1	555036.48	369883.85	369883.85
2	140557.08	213753.06	91315.85
3	37175.28	51322.22	106815.53
4	36181.97	54057.07	59295.10
5	38835.92	57229.54	60353.07
6	41419.58	53784.30	39206.58
Rata-rata	141534.38	133338.34	121145.00

Tabel 14. Tabel hasil Faktor tegangan kritis retak korosi (Kt)

NO	Kt = (f*D^2) / Δ (MPa √a)		
	NN	NV	NH
1	11100729.60	7397677.07	7397677.07
2	2811141.68	4275061.20	1826317.07
3	743505.65	1026444.46	2136310.67
4	723639.34	1081141.43	1185901.92
5	776718.38	1144590.85	1207061.35
6	828391.51	1075685.97	784131.64
Rata-rata	3703349.29	2681391.60	2433261.85

Faktor intensitas Tegangan (K) dan faktortegangan kritis retak korosi (Kt) tabung terkorosi 120 hari.

Tabel 15. Hasil Ring C tabung tidak terkorosi (ODf) dan perbandingan diameter dengan tebal specimen (Z)

NO	ODf = OD - Δ (mm)			Z		
	NN	NV	NH	NN	NV	NH
1	113.94	113.96	113.94	0.95	0.95	0.97
2	113.72	112.98	113.12	0.95	0.95	0.97
3	111.88	111.30	111.97	0.95	0.95	0.97
4	111.57	109.60	110.92	0.95	0.95	0.97
5	110.94	108.98	110.61	0.95	0.95	0.97
6	109.98	107.02	109.92	0.95	0.95	0.97
Rata-rata	112.01	110.64	111.75	0.95	0.95	0.97

Tabel 16. Hasil Ring C tabung tidak terkorosi Elastisitas (E)

NO	E= (f*Π*D ²)/(4*Δ*B*Z) (Mpa)		
	NN	NV	NH
1	305640.87	458635.41	299338.99
2	195663.57	52958.02	60278.90
3	41575.99	32279.23	42598.17
4	50476.50	26820.33	38512.02
5	50908.23	29854.46	44715.31
6	46477.98	25227.84	44797.19
Rata-rata	115123.86	104295.88	88373.43

(ODf)= D= Diameter rata-rata; (Z) = perbandingan diameter; (B) = lebar i; (Δ) = defleksi.

Tabel 17. Hasil Faktor intensitas Tegangan (K)

NO	K = (4*E*Z) / Π (MPa √a)		
	NN	NV	NH
1	369883.85	555036.48	369883.85
2	236790.31	64089.32	74484.75
3	50314.90	39064.04	52637.23
4	61086.21	32457.73	47588.10
5	61608.68	36129.60	55253.31
6	56247.24	30530.50	55354.49
Rata-rata	139321.86	126217.95	109200.29

Tabel 18. Hasil Faktor tegangan kritis retak korosi (Kt)

NO	Kt = (f*D ²) / Δ (MPa √a)		
	NN	NV	NH
1	7397677.07	11100729.60	7397677.07
2	4735806.17	1281786.40	1489695.05
3	1006297.96	781280.74	1052744.52
4	1221724.22	649154.55	951762.04
5	1232173.60	722592.03	1105066.21
6	1124944.76	610610.09	1107089.87
Rata-rata	4072764.40	2530541.12	2199870.21

Faktor intensitas Tegangan (K) dan factor intensitas tegangan kritis (Kt) tabung terkorosi 180 hari.

Tabel 19. Hasil Ring C tabung tidak terkorosi (ODf) dan perbandingan diameter dengan tebal specimen (Z)

NO	ODf = OD - Δ (mm)			Z		
	NN	NV	NH	NN	NV	NH
1	113.92	113.90	113.90	0.95	0.95	0.97
2	113.52	113.29	113.61	0.95	0.95	0.97
3	112.82	112.82	111.44	0.95	0.95	0.97
4	112.02	112.36	110.97	0.95	0.95	0.97
5	111.58	111.90	110.53	0.95	0.95	0.97
6	110.99	110.70	109.95	0.95	0.95	0.97
Rata-rata	112.48	112.50	111.73	0.95	0.95	0.97

Tabel 20. Hasil Ring tabung tidak terkorosi Elastisitas (E)

NO	E= (f*Π*D ²)/(4*Δ*B*Z) (Mpa)		
	NN	NV	NH
1	229143.62	183245.28	186959.02
2	113703.18	76533.11	137292.21
3	76061.73	76061.73	33433.52
4	62491.07	75943.42	39185.80
5	65179.19	75578.78	43615.92
6	63316.56	57425.70	45155.75
Rata-rata	101649.22	90798.00	80940.37

(ODf)= D= Diameter rata-rata; (Z) = perbandingan diameter dengan tebal ; (B) = lebar i; (Δ) = defleksi.

Tabel 21. Hasil Faktor intensitas Tegangan (K) Tabel 22 hasil Faktor tegangan kritis retak korosi (Kt)

NO	K = (4*E*Z) / Π (MPa √a)			NO	Kt = (f*D ²) / Δ (MPa √a)		
	NN	NV	NH		NN	NV	NH
1	277307.56	221761.80	231019.43	1	5546151.20	4435236.00	4620388.51
2	137602.58	92619.69	169647.69	2	2752051.60	1852393.71	3392953.88
3	92049.22	92049.22	41312.76	3	1840984.47	1840984.47	826255.13
4	75626.14	91906.05	48420.67	4	1512522.72	1838121.05	968413.44
5	78879.28	91464.77	53894.83	5	1577585.51	1829295.43	1077896.53
6	76625.14	69496.07	55797.55	6	1532502.77	1389921.33	1115951.09
Rata-rata	123014.99	109882.93	100015.49	Rata-rata	4158400.53	2208596.28	2007374.24

Faktor intensitas Tegangan (K) dan factor intensitas tegangan kritis (Kt) tabung terkorosi 240 hari.

Tabel 23. Hasil Ring C tabung tidak terkorosi (ODf) dan perbandingan diameter dengan tebal specimen (Z)

NO	ODf = OD - Δ (mm)			Z		
	NN	NV	NH	NN	NV	NH
1	113.92	113.75	113.86	0.95	0.95	0.97
2	113.86	113.88	113.85	0.95	0.95	0.97
3	112.62	112.97	112.62	0.95	0.95	0.97
4	111.84	112.59	111.84	0.95	0.95	0.97
5	110.65	111.27	110.83	0.95	0.95	0.97
6	109.57	110.75	109.81	0.95	0.95	0.97
Rata-rata	112.08	112.54	112.14	0.95	0.95	0.97

Tabel 24. Hasil Ring C tabung tidak terkorosi Elastisitas (E)

NO	E = (f*Π*D ²) / (4*Δ*B*Z) (Mpa)		
	NN	NV	NH
1	229143.62	73089.43	128093.36
2	261580.12	305292.79	239062.17
3	38873.35	52433.81	38071.83
4	32619.57	50699.08	31947.01
5	25687.82	31905.87	26680.59
6	22819.61	31836.16	23741.71
Rata-rata	101787.35	90876.19	81266.11

(ODf)= D= Diameter rata-rata; (Z) = perbandingan diameter dengan tebal ; (B) = lebar i; (Δ) = defleksi.

Tabel 25. Hasil Faktor intensitas Tegangan (K) Tabel 26. Hasil Faktor tegangan kritis retak korosi (Kt)

NO	K = (4*E*Z) / Π (MPa √a)			NO	Kt = (f*D ²) / Δ (MPa √a)		
	NN	NV	NH		NN	NV	NH
1	277307.56	88452.18	158280.97	1	5546151.20	1769043.60	3165619.31
2	316561.93	369462.61	295401.67	2	6331238.63	7389252.27	5908033.33
3	47044.18	63454.93	47044.18	3	940883.51	1269098.67	940883.51
4	39475.92	61355.58	39475.92	4	789518.34	1227111.50	789518.34
5	31087.17	38612.19	32968.37	5	621743.43	772243.88	659367.38
6	27616.09	38527.84	29336.89	6	552321.85	770556.74	586737.80
Rata-rata	123182.14	109977.56	100418.00	Rata-rata	3243039.12	2213733.21	2016780.35

Faktor intensitas Tegangan (K) dan faktor tegangan kritis retak korosi (Kt) tabung terkorosi 300 hari.

Tabel 27. Hasil Ring C tabung tidak terkorosi (ODf) dan perbandingan diameter dengan tebal specimen (Z)

NO	ODf = OD - Δ (mm)			Z		
	NN	NV	NH	NN	NV	NH
1	113.93	113.60	113.56	0.95	0.95	0.97
2	112.94	113.06	113.06	0.95	0.95	0.97
3	112.47	112.76	112.75	0.95	0.95	0.97
4	111.62	112.37	112.02	0.95	0.95	0.97
5	110.68	112.30	111.62	0.95	0.95	0.97
6	110.48	112.07	111.25	0.95	0.95	0.97
Rata-rata	112.02	112.69	112.38	0.95	0.95	0.97

Tabel 28. Hasil Ring C tabung tidak terkorosi Elastisitas (E)

NO	E = (f*Π*D ²)/(4*Δ*B*Z) (Mpa)		
	NN	NV	NH
1	269642.16	45781.30	40711.58
2	51408.90	58090.44	57015.92
3	58864.55	73012.77	71038.86
4	52143.81	77212.69	61914.80
5	47233.72	95062.88	65717.44
6	54271.03	102124.40	69018.90
Rata-rata	88927.36	75214.08	60902.92

(ODf)= D= Diameter rata-rata; (Z) = perbandingan diameter dengan tebal ; (B) = lebar i; (Δ) = defleksi.

Tabel 29. Hasil Faktor intensitas Tegangan (K)

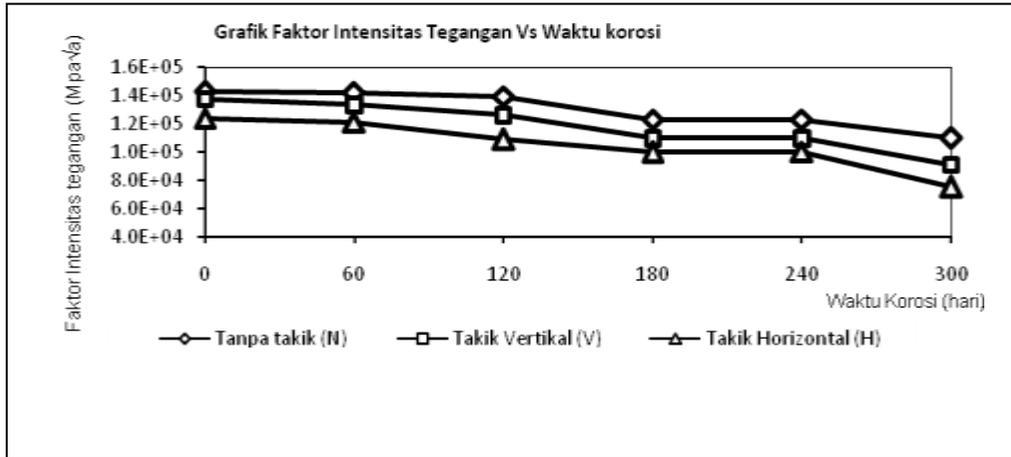
NO	K = (4*E*Z) / Π (MPa √a)		
	NN	NV	NH
1	326318.54	55404.12	50306.03
2	62214.60	70300.53	70452.79
3	71237.36	88359.41	87780.50
4	63103.97	93442.10	76506.18
5	57161.83	115044.25	81204.99
6	65678.32	123590.03	85284.50
Rata-rata	107619.10	91023.41	75255.83

Tabel 30 hasil Faktor tegangan kritis retak korosi (Kt)

NO	Kt = (f*D ²) / Δ (MPa √a)		
	NN	NV	NH
1	6526370.72	1108082.41	1006120.68
2	1244291.96	1406010.62	1409055.78
3	1424747.13	1767188.17	1755610.00
4	1262079.42	1868842.06	1530123.69
5	1143236.65	2300884.96	1624099.83
6	1313566.39	2471800.69	1705690.00
Rata-rata	3461167.42	1837039.37	1513875.47

Tabel 31. Intensitas Tegangan (K) rata-rata material cladding normal (tidak terkorosi) dan terkorosi 60,120, 180,240 dan 300 hari

Waktu (hari)	Elastisitas (Mpa)		
	Tanpa Takik (N)	Takik Horizontal (H)	Takik Vertikal (V)
0	142592.70	137781.81	123961.53
60	141534.38	133338.34	121145.00
120	139321.86	126217.95	109200.29
180	123014.99	109882.93	100015.49
240	123182.14	109977.56	100418.00
300	109899.86	91023.41	75255.83



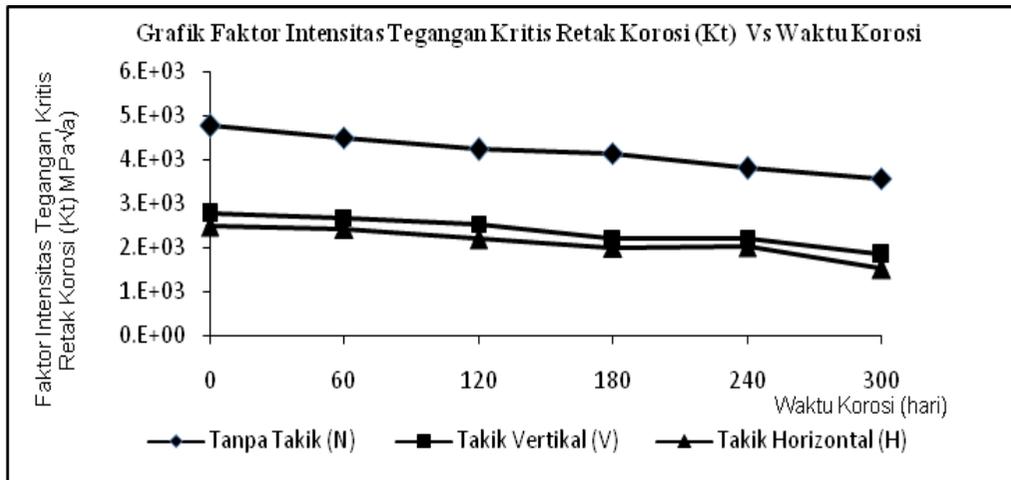
Gambar 8. Grafik Perubahan Faktor Intensitas Tegangan (K) Terhadap Waktu

Gambar 8 menunjukkan penurunan intensitas tegangan baik untuk spesimen tanpa takik maupun spesimen takik vertikal serta takik horizontal.

Geometri dari bentuk retakan menunjukkan perbedaan intensitas tegangan yang menandakan bahwa geometri retak mempengaruhi intensitas tegangan terlihat bahwa material yang ditakik memiliki intensitas tegangan terbesar kemudian takik vertikal dan takik horizontal adalah ketahanan terhadap intensitas tegangan yang paling besar. Intensitas tegangan terbesar yang terjadi pada takik horizontal terjadi karena takik model ini adalah takik mempunyai kecenderungan merusak paling tinggi. Takik model ini cenderung untuk membuka sehingga memungkinkan terjadinya pertumbuhan retak (propagasi), propagasi ini disebut *Crack opening mode*. Dari Grafik menunjukkan penurunan intensitas tegangan propotional terhadap laju waktu korosi dan berlaku untuk ketiga jenis material baik material clading yang tidak ditakik, maupun material clading yang ditakik vertikal dan takik horizontal.

Tabel 32. Rata-rata hasil faktor tegangan kritis retak korosi (Kt)

Waktu (hari)	Elastisitasitas (Mpa)		
	Tanpa Takik (N)	Takik Horizontal (H)	Takik Vertikal (V)
0	4782083.76	2764603.92	2492426.88
60	4511721.47	2681391.60	2433261.85
120	4237030.42	2530541.12	2199870.21
180	4158400.53	2208596.28	2007374.24
240	3809226.55	2213733.21	2016780.35
300	3579040.63	1836202.58	1513875.47



Gambar 9. Grafik Perubahan Faktor Intensitas Tegangan Kritis (Kt) Terhadap Waktu

Dari hasil perhitungan rata-rata yang telah digambarkan menunjukkan penurunan faktor tegangan kritis retak korosi (Kt) terhadap waktu korosi material uji. Takik (retak) baik retak vertikal (V) dan retak horizontal (H) menunjukkan perbedaan intensitas tegangan yang cukup besar dibandingkan dengan material uji tanpa takik (N), menandakan bahwa takik (retak) mempengaruhi faktor tegangan kritis retak korosi (Kt). Faktor tegangan kritis retak korosi (Kt) tidak dipengaruhi arah takik, ini dapat dilihat pada grafik perbedaan faktor tegangan kritis retak korosi (Kt) takik vertikal dengan takik horizontal cukup kecil. Faktor tegangan kritis retak korosi (Kt) mulai menurun saat material berada pada media korosif yang dimulai dari pengkorosian 60 hingga 300 hari. Menurunnya faktor tegangan kritis retak korosi (Kt) ini menandakan bahwa propagasi (jalu perambatan retak) berlangsung selama selang waktu material berada dalam lingkungan yang korosif. Jika material tetap berada dalam medium korosif pada pembebanan statis maka propagasi (laju perambatan retak) akan terus berlangsung sehingga material dalam kurun waktu tertentu akan mengalami kegagalan.

3. Analisis Hasil Two-Way Classification dengan program SPSS

Klasifikasi menurut dua kriteria (Two-way classification) adalah merupakan salah satu metode statistik yang digunakan untuk mengetahui pengaruh satu variabel terhadap variabel lainnya. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan program SPSS. Data-data hasil perhitungan elastisitas (E), faktor intensitas tegangan (K), dan faktor intensitas tegangan kritis retak korosi (kt) diinput ke dalam program SPSS sehingga diperoleh hasil-hasil berikut ini:

1. Elastisitas (E)

Correlations

Koefisien korelasi antara elastisitas dengan waktu proses korosi (hari) = -0,941 , antara elastisitas dengan posisi takik (takik) = -0,053.

Nilai sig antara elastisitas dengan waktu proses korosi (hari) lebih kecil dari 0,05 sedangkan antara elastisitas dengan posisi takik (takik) lebih besar dari 0,05, maka untuk elastisitas dengan waktu proses korosi (hari) H_0 ditolak, sedangkan untuk elastisitas dengan posisi takik (takik) H_0 diterima. Jadi terdapat hubungan antara elastisitas dengan waktu proses korosi (hari), sedangkan untuk elastisitas dengan posisi takik (takik) tidak terdapat hubungan.

Model Summary adalah koefisien korelasi pearson sebesar 0,943 yang menunjukkan tingkat hubungan yang tinggi antara elastisitas dengan waktu proses korosi (hari), posisi takik (takik).

Berdasarkan hasil analisis data diperoleh F hitung = 59,674 dengan sig = 0,00 < $\alpha = 0,05$, maka H_0 ditolak. Sehingga dapat disimpulkan terjadi hubungan antara elastisitas dengan waktu proses korosi (hari), posisi takik (takik). Adapun kontribusi elastisitas terhadap waktu proses korosi (hari), posisi takik (takik), yaitu sebesar 0,943.

Berdasarkan analisis data diperoleh nilai t hitung masing-masing untuk waktu proses korosi (hari) = -10,907 dengan hasil sig lebih kecil dari 0,05 maka H_0 ditolak sehingga dapat dikatakan bahwa koefisien regresinya signifikan, sedangkan untuk posisi takik (takik) = -0,619, dengan hasil sig lebih besar dari 0,05 maka H_0 diterima sehingga dapat dikatakan bahwa nilai elastisitas sangat kecil dipengaruhi oleh posisi takik (takik). Hal ini ditunjukkan dengan nilai koefisien regresinya tidak signifikan

2. Faktor intensitas tegangan (k)

Nilai antara intensitas tegangan (intensitas) dengan waktu proses korosi (hari) lebih kecil dari 0,05 sedangkan antara intensitas tegangan (intensitas) dengan posisi takik (takik) lebih besar dari 0,05, maka untuk intensitas tegangan (intensitas) dengan waktu proses korosi (hari) H_0 ditolak, sedangkan untuk intensitas tegangan (intensitas) dengan posisi takik (takik) H_0 diterima. Jadi terdapat hubungan antara intensitas tegangan (intensitas) dengan waktu proses korosi (hari), sedangkan untuk intensitas tegangan (intensitas) dengan posisi takik (takik) tidak terdapat hubungan.

Berdasarkan hasil analisis data diperoleh F hitung = 16,455 dengan sig = 0,00 < $\alpha = 0,05$, maka H_0 ditolak. Sehingga dapat disimpulkan terjadi hubungan antara intensitas tegangan (intensitas) dengan waktu proses korosi (hari), posisi takik (takik). Adapun kontribusi intensitas tegangan (intensitas) terhadap waktu proses korosi (hari), posisi takik (takik), yaitu sebesar 0,829.

Berdasarkan analisis data diperoleh nilai t hitung masing-masing untuk waktu proses korosi (hari) = -5,426 dengan hasil sig lebih kecil dari 0,05 maka H_0 ditolak sehingga dapat dikatakan bahwa koefisien regresinya signifikan, sedangkan untuk posisi takik (takik) = -1,861, dengan hasil sig lebih besar dari 0,05 maka H_0 diterima sehingga dapat dikatakan bahwa nilai intensitas tegangan (intensitas) sangat kecil

dipengaruhi oleh posisi takik (takik). Hal ini ditunjukkan dengan nilai koefisien regresinya tidak signifikan.

3. Faktor intensitas tegangan kritis retak korosi (kt)

Nilai antara faktor intensitas tegangan kritis retak korosi (korosi) dengan waktu proses korosi (hari) lebih besar dari 0,05 sedangkan antara faktor intensitas tegangan kritis retak korosi (korosi) dengan posisi takik (takik) lebih kecil dari 0,05, maka untuk faktor intensitas tegangan kritis retak korosi (korosi) dengan waktu proses korosi (hari) H_0 diterima, sedangkan untuk faktor intensitas tegangan kritis retak korosi (korosi) dengan posisi takik (takik) H_0 ditolak. Jadi terdapat hubungan antara faktor intensitas tegangan kritis retak korosi (korosi) dengan waktu posisi takik (takik), sedangkan untuk faktor intensitas tegangan kritis retak korosi (korosi) dengan proses korosi (hari) tidak terdapat hubungan.

Berdasarkan hasil analisis data diperoleh $F_{hitung} = 15,979$ dengan $sig = 0,00 < \alpha = 0,05$, maka H_0 ditolak. Sehingga dapat disimpulkan terjadi hubungan antara faktor intensitas tegangan kritis retak korosi (korosi) dengan waktu proses korosi (hari), posisi takik (takik). Adapun kontribusi faktor intensitas tegangan kritis retak korosi (korosi) terhadap waktu proses korosi (hari), posisi takik (takik), yaitu sebesar 0,825.

Berdasarkan analisis data diperoleh nilai t_{hitung} masing-masing untuk waktu proses korosi (hari) = -2,366 dan posisi takik (takik) = -5,134 dengan hasil sig lebih kecil dari 0,05 maka H_0 ditolak sehingga dapat dikatakan bahwa koefisien regresinya signifikan.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Hasil penelitian dan semua uraian yang dipaparkan pada bab-bab sebelumnya, dapat disimpulkan berikut:

1. Intesitas tegangan (K) mengalami penurunan selama material cladding berada dalam lingkungan elpiji sebagai medium korosi pada sejalan dengan selang waktu pengkorosian.
2. Faktor tegangan kritis retak korosi (Kt) dipengaruhi oleh adanya retak (takik) yang terdapat pada material cladding tetapi bentuk retak (takik) pengaruhnya tidak signifikan terhadap perubahan faktor tegangan kritis retak korosi (Kt).

Saran-saran

1. Untuk mengetahui perubahan struktur interen material perlu dilakukan penelitian metallurgi agar dapat diketahui sejauh mana perubahan struktur mikro yang diakibatkan oleh pengkorosian.
2. Perlu dilakukan penelitian untuk media korosi yang lain khususnya fluida yang sering disimpan pada tabung yang bertekanan.

V. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya, kami haturkan kepada:

1. Direktorat Penelitian dan Pengabdian Kepada masyarakat Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan Nasional
2. Direktur Politeknik Negeri Ujung Pandang.

VI. DAFTAR PUSTAKA

Amanto, Hari dan Daryanto, 1999, *Ilmu Bahan*, PT. Bumi Aksara, Jakarta.

Brant, D.T. , 1980, *Fundamental Material Science*, New York.

Callister, W.D.Jr., 1994. *Material Science and Engineering*, New York.

Ewalds, H.L., and Wanhill R.J.H., 1983, *Fracture mechanics*, Edward Arnold (Publishers) Ltd., London.

Fontana, M.G., 1987, *Corrosion Engineering*, Third Edition, McGraw-Hill International Editions.

Gere and Timoshenko., Suryoatmono, Bambang 1997, *Mekanika Bahan* , Jilid 2, Edisi Keempat, Erlangga, Jakarta.

Hartomo, A.J., 1992, *Komposit Metal* , Andi Offset, Yogyakarta.

11th Internasional Corrosion congress, 1990, Innovation and Technology Transfer For Corrosion Control, Volume 4, Associazione Italiana Di Metallurgia.

Jones, R.M., 1975, *Mechanics Of Composite Materials*, McGraw-Hill Kogakusha , LTD.

Pertamina , 2000, *Bahan Bakar Minyak, Elpiji, dan BBG*.

Rolfe, S.T., Barsom, J.M., *Fracture And Fatigue Control In Structures*, Prentice-Hall, Inc, Englewood Cliffs, New Jersey.

Trethewey ,KR. And Chamberlain ,J., 1991, *Korosi Untuk Mahasiswa dan Rekeyasawan*, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.

Van Vlack, H. Lawrence., Djaprie, Sriati, 1991, Ilmu Dan Teknologi Bahan, Erlangga, Jakarta.

Widharto, Sri., 2001, Karat dan Pencegahannya, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.

SINERGI