

ANALISIS EFEK GAS KOROSIF TERHADAP PROPAGASI RETAK MATERIAL *CLADDING* (BAJA-TEMBAGA) UNTUK MATERIAL BEJANA TEKAN DENGAN UJI KUAT TARIK

Yosrihard Basongan¹⁾

Abstrak: Tujuan penelitian ini ialah menganalisis (1) kekuatan material cladding (baja-tembaga) sebagai material bejana tekan untuk gas elpiji, (2) efek bahan bakar gas elpiji dengan beban statis terhadap intensitas tegangan material cladding (3) pengaruh tekanan internal bejana terhadap kecepatan propagasi retak korosi material bejana cladding. Untuk mencapai maksud tersebut, kegiatan ini dibagi beberapa tahap yaitu persiapan, pelaksanaan, dan analisa. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini yaitu lama pengkorosian, dan bentuk takik bejana material cladding. Data-data diperoleh melalui hasil pengujian tarik. Kesimpulan yang diperoleh ialah (1) Penurunan kekuatan tarik, dan intensitas tegangan berbanding lurus dengan lamanya pengkorosian dalam medium gas elpiji, (2) Intensitas tegangan mengalami perubahan bervariasi dengan lamanya pengkorosian dalam medium gas elpiji, dan (3) Kombinasi tekanan, takik, dan lamanya material dalam media korosi menyebabkan penurunan kuat tarik dan intensitas tegangan namun bentuk takik tidak berpengaruh secara signifikan.

I. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Penggunaan bejana tekan di dunia industri memegang peranan yang sangat penting, bahkan telah digunakan secara luas oleh masyarakat. Bejana tekan umumnya digunakan sebagai wadah penyimpanan fluida yang bertekanan di antaranya udara, gas elpiji, dan zat-zat kimia yang lainnya. Sering dijumpai terjadi kecelakaan karena meledaknya bejana bertekanan yang mungkin diakibatkan oleh tekanan yang berlebihan, kesalahan fabrikasi, atau terjadinya korosi internal yang merusak permukaan dalam sehingga membentuk pit (lobang). Pit (lobang) yang terbentuk ini sebagai retak awal. Sejalan dengan waktu penggunaannya retak akan merambat, hingga satu saat material bejana gagal (rusak).

Menurut KR. Trethewey dan J.Chamberlain (1991) cacat atau retak (*crack*) yang ada pada material dapat berperan dalam proses terjadinya kegagalan. Dalam setiap kegagalan terdapat dua fase yang sangat berbeda yaitu: fase pemicuan (*initiation*) yaitu adanya retak awal dan fase pertumbuhan (*propagation*) retak tersebut. Retak mungkin sudah terdapat dalam bahan asli akibat proses manufacturing, ataupun terbentuk akibat mekanisme mekanik atau korosi yang ditandai dengan rusaknya lapisan oksida pelindung yang terdapat pada permukaan logam. Kerusakan

¹ Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang

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

Desain bejana tekan untuk kebutuhan industri secara umum di dasarkan pada tiga karakteristik yaitu, kekuatan, kekakuan, dan stabilitas. Bejana tekan yang didesain struktur selalu ditinjau dalam keadaan stabil seimbang (ideal). Namun dalam kenyataan struktur tidak selalu dalam keadaan stabil. Pertimbangan kestabilan struktur dalam satu desain adalah merupakan satu persoalan yang pokok yang perlu diperhitungkan guna menghasilkan satu produk yang optimum dan aman. Sampai sekarang bejana tekan yang dipakai oleh beberapa industri yang terbuat dari material baja masih merupakan pilihan yang utama karena beberapa pertimbangan tertentu, misalnya harga, kekuatan, kekakuan, fabrikasi dan sebagainya. Namun tidak dapat dihindari kelemahan dari material baja di antaranya yaitu masalah berat, korosi.

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, bejana (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%.

Masalah korosi yang tidak menguntungkan dari material ini dapat di minimumkan dengan material *cladding* yaitu jenis material yang terbentuk dari perpaduan antara dua atau lebih komponen yang menyatu menjadi satu bentuk material. Untuk mengatasi masalah korosi, salah satu bahan material *cladding* tersebut adalah bahan yang resisten terhadap korosi dengan melindungi material yang korosif. Misalnya pelapisan dengan menggunakan bahan tembaga yang resisten terhadap korosi dan sebagai penguat digunakan baja karbon. 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.

Berdasarkan uraian di atas perlu dilakukan penelitian mengenai efek gas korosif terhadap kecepatan propagasi retak material *clading* (baja-tembaga) yang digunakan sebagai material bejana tekan untuk gas.

Tujuan dan Manfaat

Tujuan Penelitian

Penelitian ini adalah bertujuan untuk:

1. Menganalisis kekuatan material *clading* (baja-tembaga) sebagai material bejana tekan untuk gas.
2. Menganalisis efek bahan bakar gas elpiji dengan beban statis terhadap intensitas tegangan material *clading* yang digunakan sebagai material bejana tekan.
3. Menganalisis pengaruh tekanan internal bejana terhadap kecepatan propagasi retak korosi material bejana *clading* (baja-tembaga) yang digunakan sebagai material bejana tekan untuk gas.

Manfaat Penelitian

Manfaat hasil penelitian yang diharapkan yaitu:

1. Bagi kalangan industri, dapat dijadikan informasi dan pertimbangan untuk membuat bejana tekan dengan material *clading* dengan metode *metal clading* dengan proses pengepresan dingin.
2. Bagi Akademisi, dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan dalam menganalisa efek gas korosif pada bejana tekan dari material *clading*.
3. Bagi kalangan peneliti, dapat dijadikan bahan perbandingan dalam penelitian selanjutnya yang berhubungan dengan material *clading* untuk jenis logam yang lain.

II. METODE PENELITIAN

A. Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan di Bengkel dan Laboratorium Mekanik Politeknik Negeri Ujung Pandang kegiatan penelitian yang dilaksanakan di Bengkel mekanik yaitu pembuatan bejana *clading* dan pembuatan spesimen uji tarik. Untuk uji spesimen korosi dan uji tarik dilaksanakan di Laboratorium Mekanik.

B. Variabel Penelitian

Variabel penelitian terdiri atas variabel bebas dan variabel terikat, masing-masing variabel yang dimaksudkan yaitu:

1. Variabel bebas (Independen variabel)
Variabel bebas yaitu variabel yang ditentukan lebih awal sebelum penelitian dilakukan, di dalam penelitian ini variabel bebasnya adalah waktu korosi, arah retak dan tekanan bejana.
2. variabel terikat (dependen variabel)

Variabel terikat adalah variabel yang besarnya didapatkan setelah dilakukan pengamatan yang besarnya tergantung pada variabel bebasnya. Variabel terikat yang akan diamati yaitu, tegangan dan regangan.

Langkah-langkah penelitian dengan menggunakan variabel sebagai berikut:

- a. Penentuan sampel untuk bahan yang akan digunakan sebagai material bejana *clading*. Adapun bahan *clading* untuk bejana tekan terdiri dari:

Bahan induk

Bahan induk dimaksudkan yaitu bahan utama yang akan ditempatkan pada bahagian terluar yang akan dilapisi dengan logam pelindung. Untuk bahan induk digunakan pipa dari baja karbon, sebelum dibentuk material *clading* terlebih dahulu dilakukan uji tegangan tarik didasarkan pada standar uji tegangan tarik SII N0.12 Tahun 1981.

Bahan lapis pelindung

Bahan lapisan pelindung dimaksudkan yaitu bahan untuk melindungi bahan utama yang ditempatkan pada bahagian dalam dari bejana. Untuk bahan lapisan pelindung digunakan bahan pipa tembaga, hasil uji tegangan tarik yang didasarkan pada standar uji tegangan tarik SII N0.12 Tahun 1981.

Setelah dianalisa didapatkan data-data material induk yaitu: Tegangan tarik maksimum (σ_u); Tegangan tarik mulur (σ_y), Regangan tarik (ϵ_t), demikian halnya dengan bahan yang telah dibuat *clading* maupun bahan *clading* yang terkorosi.

Bahan media korosi

Untuk media korosif digunakan gas Elpiji, yang mempunyai sifat-sifat seperti ditunjukkan pada tabel 1 berikut:

Tabel 1. Spesifikasi Elpiji Campuran

No	PROPERTIES	LIMITS		TEST METHODS	
		MIN	MAKS	ASTM	Lain
1.	Specific Gravity at 60/60 ⁰ F	to be reported		D-1657	IP
2.	Vapour pressure at 100 ⁰ F psig	-	120	D-1267	-
3.	Weatering test at 36 ⁰ F %vol	95	-	D-1837	-
4.	Copper Corrosion 1 hrs 100 ⁰ F	-	ASTM No.1	D-1838	-
5.	Total Sulphur, grains/100 cut	-	15	D-2784	-
6.	Water Content	No.Free Water	-	-	Visual
7.	<u>Komposisi:</u>				
	- C ₂ % vol	-	0,2	D-2163	-
	- C ₃ dan C ₄ % vol	97,5	-		
- C ₅ + (C ₅ and heavier) % vol	-	2,0			
8.	Ethyl or Buthyl mercaptan Added ml/100 AG	-	50	-	-

Sumber: Pertamina (2000)

b. Peralatan Penelitian

Adapun peralatan yang digunakan di dalam penelitian ini, yaitu:

1. Peralatan membuat bejana tekan dan spesimen uji:
 - a. Mesin gergaji

b. Mesin bubut

c. Mesin Frais

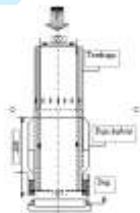
2. Peralatan Uji Tegangan tarik:

Untuk pengujian kekuatan tarik digunakan Mesin uji Tarik (Tensile Machine), Tipe Universal PM10 dan kelengkapannya.

c. Pembuatan bejana *clading*

Bahan yang akan dibentuk bejana *clading* yaitu baja karbon dan tembaga, Data tegangan tarik bahan pelapis lindung tembaga yaitu gaya tarik lumer yang digunakan untuk menekan bahan pelapis lindung pada bahan induk. Kekuatan material pelindung, yaitu tegangan tarik luluh sebagai dasar untuk menentukan gaya tekan pada saat dilakukan penekanan pipa tembaga pada pipa baja dimaksudkan agar tidak terjadi deformansi pada saat dilakukan penekanan. Urutan proses pembuatan bejana *clading* dilakukan sebagai berikut:

Bahan induk dari pipa baja karbon yang berdiameter ukuran $\varnothing 4''$, dipotong dengan panjang 200 mm, diameter dalam dibubut yang disesuaikan dengan diameter luar dari pipa tembaga hingga dihasilkan tebal bejana 5 mm. Pada bagian yang akan dijadikan spesimen uji diberi takik masing-masing sesumbu dengan bejana (arah longitudinal) diberi notasi H, arah melintang (transversal) diberi notasi V, dan tidak ditakik diberi notasi N. Bagian ujung dibuat alur untuk pemasangan tutup (Dup).



Gambar 1. Proses Pembuatan Bejana *Clading* dengan Metoda *Metal Clading*

Setelah selesai pembuatan bejana tekan seperti diperlihatkan pada gambar 2 selanjutnya diisi gas elpiji pada tekanan di bawah tegangan luluh (σ_y) material *clading*, kemudian dibiarkan pada selang waktu tertentu untuk proses korosi.



Gambar 2. Instalasi Uji Korosi Beban Statis

d. Metode Pengambilan Data

Setelah pembuatan bejana tekan *clading*, dihasilkan bentuk bejana, kemudian diuji korosi dengan beban statis. Bejana diisi gas elpiji dengan tekanan di bawah kekuatan luluh (σ_y) dengan menggunakan persamaan $p = \frac{\sigma_y \cdot t}{r}$, dengan $r=46$ mm

adalah jari-jari bejana, $t=5\text{mm}$ adalah tebal bejana, dan $\sigma_y= 97,68\text{ Mpa}$ adalah tegangan mulur bahan. Sehingga didapat tekanan untuk pengisian bejana tekan yaitu $P= 10,617\text{ Mpa}$. Tekanan yang digunakan yaitu 10 Mpa .

Uji korosi dilakukan masing-masing selama 60, 120, dan 132 hari.

Lama bejana di uji korosi beban statis masing-masing:

1. Bejana tekan I 60 hari
2. Bejana tekan II 120 hari
3. Bejana tekan III 132 hari

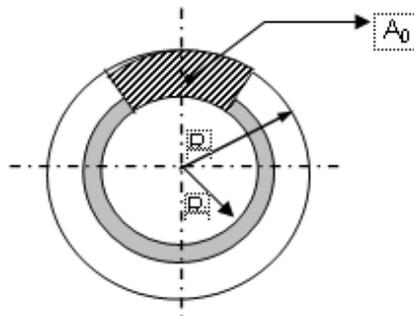
Setelah 60 hari bejana tekan I dilepas, dan dilakukan pemeriksaan visual. Hal yang sama dilakukan pada bejana tekan II, bejana tekan III, bejana tekan IV, dan bejana tekan V, setelah waktu selang waktu korosi 60, 120, dan 132 hari. Spesimen uji mekanis dari bejana tekan *cladding* I 60 hari terdiri dari: spesimen tanpa takik (N), spesimen takik arah transversal (V), dan arah longitudinal (H), begitu juga dengan bejana *cladding*. II, III, IV dan V.

Jumlah sampel keseluruhan untuk pengujian tarik: untuk spesimen uji tarik diperoleh 9 buah sampel dari 1 bejana (bejana tekan *cladding*), masing-masing sebagai berikut:

- 1) Bejana *cladding* normal terdiri dari: 18 sampel tanpa takik, 6 sampel takik transversal, 6 sampel takik longitudinal, 6 sampel takik longitudinal (2 buah bejana *cladding*).
- 2) Bejana *cladding* hasil uji korosi terdiri dari:
 - a. Uji korosi 60 hari, 18 sampel terdiri dari 6 sampel tanpa takik, 6 sampel takik transversal, 6 sampel takik longitudinal (2 buah bejana *cladding*).
 - b. Uji korosi 120 hari, 18 sampel terdiri dari 6 sampel tanpa takik, 6 sampel takik vertikal, 6 sampel takik longitudinal (2 buah bejana *cladding*).
 - c. Uji korosi 132 hari, 18 sampel terdiri dari 6 sampel tanpa takik, 6 sampel takik vertikal, 6 sampel takik longitudinal (2 buah bejana *cladding*).

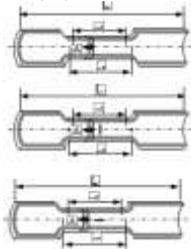
Jumlah spesimen sebanyak 72 spesimen, (8 bejana tekan *cladding*).

Setiap bejana diambil spesimen 9 buah, pengambilan spesimen seperti gambar berikut:



Gambar 3 Penampang Pipa *Cladding* dan Bagian Penampang sebagai Sampel

Bentuk spesimen uji tarik tanpa takik (N)



Gambar 4. Spesimen Uji Tarik Cladding

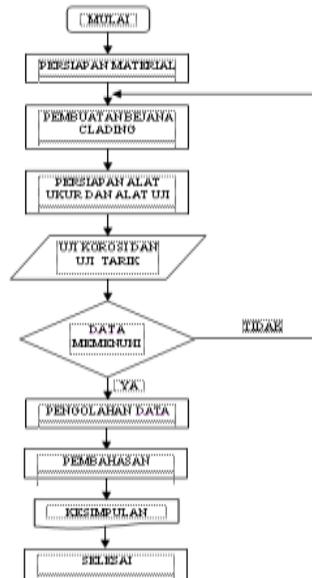
Keterangan:

A_0 =Luas penampang (mm^2) ; L_0 = Panjang Ukur= 60 (mm); Tebal spesimen (T_o)= 5 mm; Lebar spesimen (B_o)= 25 mm;

L_p =Panjang paralel=60 (mm) ; Kedalaman Takikan (a)= 2 mm; Sumbu terpanjang takikan (c)= 10 mm; r_o = 46 mm

Data hasil uji tarik pengamatan masing-masing beban yield (F_y), maksimum (F_m), dan pertambahan patah (Δb), data tersebut diolah lebih lanjut, untuk mengetahui tegangan tarik yield (σ_y), Maksimum (σ_m), dan faktor Intensitas Tegangan (K_I). Untuk menentukan pengaruh satu variabel dengan variabel lainnya data dianalisa dengan klasifikasi menurut dua kriteria (Two-way classification). Hal ini dilakukan dengan cara menghitung varian variabel tersebut.

e. Diagram Alir Penelitian



Gambar 5. Diagram Alir Penelitian

III. HASIL PENELITIAN

1. Analisa Hasil Uji Tarik

Data hasil uji tarik bahan induk

Setelah dilakukan uji tarik didapatkan data hasil pengujian tarik seperti yang diperlihatkan pada tabel 2 berikut ini:

Tabel 2. Data Hasil Uji Tarik Bahan Dasar

No	Bo (mm)	Lo (mm)	Fy (kN)	Fm (kN)	□L (mm)	Li (mm)	Ao (mm ²)
Bahan Baja Karbon							
1	25	60	32.46	49.8	14.5	74.5	125
2	25	60	31.88	49.6	14.2	74.2	125
3	25	60	33.38	49.79	13.5	73.5	125
4	25	60	33.1	49.8	13.59	73.75	125
5	25	60	32.35	49.6	14.22	74.5	125
6	25	60	33.75	50.01	14.45	74.12	125
Rata-rata	25	60	32.82	49.76	14.00	74.09	125
Bahan Tembaga							
1	25	60	21.75	27.34	18.2	78.2	125
2	25	60	22.02	28.26	22.2	82.2	125
3	25	60	24.2	27.65	12.2	72.2	125
4	25	60	28.12	28.12	22.2	82.2	125
5	25	60	24.9	26.9	12.2	72.2	125
6	25	60	25.12	27.12	13.3	72.1	125
Rata-rata	25	60	24.32	27.55	17.4	76.5	125
Bahan Clading							
1	25	60	31.31	41.2	15.4	75.4	125
2	25	60	31.64	42.5	16.1	76.1	125
3	25	60	32.28	43.25	14.6	74.6	125
4	25	60	32.75	42.5	16.1	76.1	125
5	25	60	29.68	45.25	14.6	74.6	125
6	25	60	33.66	44.15	13.2	73.2	125
Rata-rata	25	60	31.87	43.14	15	75	125

Data tersebut di atas kemudian diolah sehingga didapatkan tegangan tarik yaitu: Tegangan tarik maksimum (σ_u); Tegangan tarik mulur (σ_y); Regangan tarik (ϵ_t), dengan persamaan:

Tegangan tarik dihitung dengan persamaan:

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \text{ Mpa}; \text{ dan}$$

Regangan tarik:

$$\epsilon_t = \frac{Li - Lo}{Lo} = \frac{\Delta l}{l_0}$$

Hasil yang didapatkan dari analisa data di atas, seperti yang diperlihatkan pada table berikut:

Tabel 3. Data Hasil Analisa Tegangan dan Regangan Tarik Bahan Dasar

No	σ_v (Mpa)	σ_m (Mpa)	ϵ_t (%)
Bahan Baja Karbon			
1	259.68	398.4	23.66
2	255.04	396.8	23.66
3	267.04	398.32	22.5
4	264.8	398.4	22.91
5	258.8	396.8	24.16
6	270	400.08	23.53
Rata-rata	261.07	397.74	23.38
Bahan Tembaga			
1	174	218.72	30.33
2	176.16	226.08	37
3	193.6	221.2	20.33
4	224.96	224.96	37
5	199.2	215.2	20.33
6	200.96	216.96	20.16
Rata-rata	193.58	221.232	29
Bahan Clading			
1	250.48	329.6	25.66
2	253.12	340	26.83
3	258.24	346	24.33
4	262	340	26.83
5	237.44	362	24.33
6	269.28	353.2	22
Rata-rata	252.26	343.52	25.6

Data hasil uji tarik bejana tekan *clading* normal

Setelah dibuat bejana tekan *clading* yang belum diberi tekanan kemudian dibentuk spesimen dan dilakukan uji tarik didapatkan data hasil pengujian tarik seperti yang diperlihatkan pada tabel 4 berikut ini:

Tabel 4. Data Hasil Uji tarik Bejana Normal Tanpa Tekanan

Bejana	Tarik	F_y (KN)	F_m (KN)	T_i (mm)	B_i (mm)	l_i (mm)
Normal	N1	31.46	39.42	73.15	N1	31.46
	N2	30.88	44.42	71.8	N2	30.88
	N3	31.38	44.72	75.2	N3	31.38
	N4	31.1	44.65	73.17	N4	31.1
	N5	31.35	44.58	71.5	N5	31.35
	N6	30.75	38.29	70.92	N6	30.75
	Rata-rata	31.1533	42.68	72.6233	AV	31.1533
	V1	30.31	41.8	70.5	V1	30.31
V2	30.64	42.39	73.6	V2	30.64	

V3	30.28	41.51	70.8	V3	30.28
V4	30.75	39.29	70.92	V4	30.75
V5	30.68	40.26	70.78	V5	30.68
V6	30.66	42.21	73.6	V6	30.66
Rata-rata	30.532	41.05	71.32	AV	30.532
H1	27.75	35.53	73.1	H1	27.75
H2	28.02	34.54	71.55	H2	28.02
H3	29.2	36.45	72.85	H3	29.2
H4	29.12	35.95	71.5	H4	29.12
H5	28.9	34.64	71.58	H5	28.9
H6	29.12	35.75	71.5	H6	29.12
Rata-rata	28.598	35.422	72.116	AV	28.598

Data tersebut di atas kemudian diolah sehingga didapatkan tegangan tarik yaitu: Tegangan tarik maksimum (σ_u); Tegangan tarik mulur (σ_y); Regangan tarik (ϵ_t), seperti diperlihatkan pada tabel 5 berikut ini:

Tabel 5. Data Hasil Analisa Tegangan dan Regangan Tarik Bejana Normal

Bejana	Tarik	σ_y (Mpa)	σ_m (Mpa)	ϵ_t (%)
1	N1	251.68	315.36	1
2	N2	247.04	355.36	2
3	N3	251.04	357.76	3
4	N4	248.8	357.2	4
5	N5	250.8	356.64	5
6	N6	246	306.32	6
Rata-rata		249.872	342.8267	47.554
1	H1	242.48	334.4	17.5
2	H2	243.175	336.4286	22.66
3	H3	238.425	326.8504	18
4	H4	240.234	306.9531	18.2
5	H5	237.829	312.093	17.96
6	H6	235.846	324.6923	22.66
Rata-rata		239.66	323.5696	19.5
1	V1	222	284.24	21.83
2	V2	222.38	274.12	19.25
3	V3	229.92	287	21.41
4	V4	227.5	280.85	19.16
5	V5	224.03	268.52	19.3
6	V6	224	275	19.16
Rata-rata		224.97	278.29	20.02

Data hasil uji tarik bejana tekan *clading* terkorosi 60 hari

Setelah dibuat bejana tekan *clading* kemudian diberi tekan 10 Mpa kemudian dibiarkan terkorosi selama 60 hari. Setelah 60 hari bejana dibuka dan dibentuk

spesimen kemudian dilakukan uji tarik didapatkan data hasil pengujian tarik seperti yang diperlihatkan pada tabel 6 berikut ini:

Tabel 6. Data Hasil Uji Tarik Bejana Tekan Terkorosi 60 Hari

Bejana	Takik	F_y (KN)	F_m (KN)	Li (mm)
60 Hari	N1	39.02	72.15	72.15
	N2	40.42	71.8	71.8
	N3	39.72	71.2	71.2
	N4	41.22	72	72
	N5	40.52	71.8	71.8
	N6	38.22	71.2	71.2
	Rata-rata	39.85333	71.69167	71.69167
	V1	37.85	71.55	71.55
	V2	38.73	72.85	72.85
	V3	38.88	73.14	73.14
	V4	40.21	73.25	73.25
	V5	40.23	73.3	73.3
	V6	37.48	73.14	73.14
	Rata-rata	38.89667	72.87167	72.87167
	H1	13.58	33.89	70.42
	H2	13.65	35.78	72
	H3	12.45	32.45	71.4
	H4	12.57	34.05	71.5
	H5	13.25	32.75	70.58
	H6	13.25	33.15	71.4
Rata-rata	13.125	33.67833	71.21667	

Data tersebut di atas kemudian diolah sehingga didapatkan tegangan tarik yaitu: Tegangan tarik maksimum (σ_u); Tegangan tarik mulur (σ_y) Regangan tarik (ϵ_t), seperti diperlihatkan pada tabel 8 berikut ini:

Tabel 8. Data Hasil Analisa Tegangan dan Regangan Tarik Bejana Tekan Terkorosi 60 Hari

Bejana	Takik	σ_y (MPa)	σ_m (MPa)	ϵ_t (%)
1	N1	153.92	312.16	20.25
2	N2	153.04	323.36	19.66
3	N3	154	317.76	18.66
4	N4	150	329.76	20
5	N5	152.96	324.16	19.66
6	N6	156.4	305.76	18.66
Rata-rata		153.65	313.3867	19.62
1	H1	116.64	302.8	19.25
2	H2	121.28	309.84	21.41
3	H3	128.08	311.04	21.9
4	H4	128	321.68	22.083
5	H5	128.4	321.84	22.16
6	H6	129.68	299.84	21.9

	Rata-rata	122	153.92	312.16
1	V1	108.64	271.12	17.36
2	V2	109.2	286.24	20
3	V3	99.6	259.6	19
4	V4	100.56	272.4	19.16
5	V5	106	262	17.63
6	V6	106	265.2	19
	Rata-rata	105.81	105	269.42

Data hasil uji tarik bejana tekan *clading* terkorosi 120 hari

Tabel 8. Data Hasil Uji Tarik Bejana Tekan Terkorosi 120 Hari

Tabung	Takik	F _y (KN)	F _m (KN)	li (mm)
120 Hari	N1	13.14	40.02	72.15
	N2	19.13	38.42	71.8
	N3	19.25	38.72	71.2
	N4	19.13	38.42	71.85
	N5	19.29	38.69	71.9
	N6	19.34	39.02	72.23
	Rata-rata	18.21	38.88	71.85
	H1	14.58	37.85	71.55
	H2	15.16	38.73	72.85
	H3	16.01	38.88	73.14
	H4	15.36	38.78	72.92
	H5	15.25	38.7	73.08
	H6	16.21	38.97	72.02
	Rata-rata	15.423	38.65	72.59
	V1	13.58	33.89	70.42
	V2	13.65	35.78	72
	V3	12.45	32.45	71.4
	V4	12.15	32.25	71.5
	V5	12.17	32.29	71.55
	V6	23.23	34.12	71.63
AV	14.53	33.46	71.41	

Data tersebut di atas kemudian diolah sehingga didapatkan tegangan tarik yaitu: Tegangan tarik maksimum (σ_u); Tegangan tarik mulur (σ_y); Regangan tarik (ϵ_t), seperti diperlihatkan pada tabel 9 berikut ini:

Tabel . Data Hasil Analisa Tegangan dan Regangan Tarik Bejana Tekan Terkorosi 120 Hari

Tabung	Takik	σ_y (MPa)	σ_m (MPa)	ϵ_t (mm)
1	N1	110.56	258.4	31.66
2	N2	97.22	273.01	15.33
3	N3	103.54	277.16	18
4	N4	102.96	271.48	17.91
5	N5	102.32	262.01	19.66

7	N6	103.07	256.15	18.83
Rata-rata		103.32	268.41	20.51
1	H1	116.64	270.8	19.25
2	H2	114.88	283.44	21.41
3	H1	116.64	302.8	19.25
4	H2	121.28	309.84	21.41
5	H3	128.08	311.04	21.9
6	H4	122.88	310.24	21.53
Rata-rata		123.42	309.21	20.98
1	V1	108.64	271.12	17.36667
2	V2	109.2	286.24	20
3	V3	99.6	259.6	19
4	V4	97.2	258	19.16
5	V5	97.36	258.32	19.25
6	V6	185.84	272.96	19.38333
Rata-rata		116.30	267.70	19.02

Data hasil uji tarik bejana tekan *clading* terkorosi 132 hari

Setelah dibuat bejana tekan *clading* kemudian diberi tekan 10 Mpa kemudian dibiarkan terkorosi selama 132 hari yang seharusnya 180 hari. Hal ini dilakukan karena batas waktu pelaporan hasil penelitian dan seminar hasil harus dilakukan pada tanggal 27 Oktober. Bejana yang ketiga dibentuk spesimen 20 Oktober 2008 yang seharusnya akan dibentuk spesimen pada tanggal 12 Desember 2008. Bejana tekan dibentuk spesimen kemudian dilakukan uji tarik didapatkan data hasil pengujian tarik seperti yang diperlihatkan pada tabel 10 berikut ini:

Tabel 10. Data hasil Uji Tarik Bejana Tekan Terkorosi 132 Hari

Bejana	Tarik	F _y (KN)	F _m (KN)	Li (mm)
120 Hari	N1	13.82	32.3	79
	N2	12.25	34.4	69.2
	N3	13.15	35.2	70.8
	N4	13.18	34.75	70.75
	N5	13.2	33.8	71.8
	N6	13.4	33.3	71.3
	Rata-rata	13.16	33.95	72.14
	H4	12.5	34.7	70.4
	H5	13.4	32.9	70.45
	H6	13.2	32.45	69.9
	H4	13.35	32.75	70.1
	H5	12.45	34.6	70.55
	H6	12.5	33.8	71.8
	Rata-rata	12.9	33.53	70.53
	V1	12.5	33.7	70.33
	V2	12.2	32.9	70

V3	12.5	29.6	69.2
V4	12.5	30.05	70.32
V5	12.5	31	70.2
V6	12.32	32.7	70.3
Rata-rata	12.42	31.65	70.05

Data tersebut di atas kemudian diolah sehingga didapatkan tegangan tarik yaitu: Tegangan tarik maksimum (σ_u); Tegangan tarik mulur (σ_y), Regangan tarik (ϵ_t), seperti diperlihatkan pada tabel 11 berikut ini:

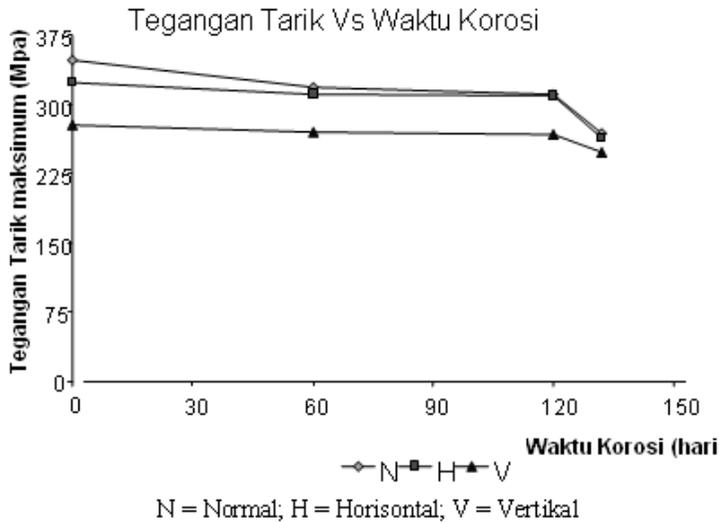
Tabel 11. Data Hasil Analisa Tegangan dan Regangan Tarik Bejana Tekan Terkorosi 132 Hari

Bejana	Takik	σ_y (MPa)	σ_m (MPa)	ϵ_t (%)
1	N1	110.56	258.4	31.66
2	N2	97.22	273.01	15.33
3	N3	103.54	277.16	18
5	N4	102.96	271.48	17.91
6	N5	102.32	262.01	19.66
7	N6	103.07	256.15	18.83
Rata-rata		103.32	268.41	20.51
1	H1	100	277.6	17.33
2	H2	106.34	261.11	17.41
3	H3	103.93	255.51	16.5
5	H4	104.29	255.85	16.83
6	H5	96.51	268.21	17.58
7	H6	96.15	260	19.66
Rata-rata		101.20	263.04	17.55
1	V1	100	269.6	17.21
2	V2	96.82	261.11	16.66
3	V3	98.42	233.07	15.33
5	V4	97.65	234.76	17.2
6	V5	96.89	240.31	17
7	V6	94.76	251.53	17.16
Rata-rata		97.96	247.77	16.68

Kuat tarik maksimum material bejana tekan bahan *clading* rata-rata untuk semua perlakuan dan bentuk takik pada spesimen, kemudian digrafikkan seperti yang diperlihatkan pada gambar 6 berikut:

Tabel 12. Tabel rata-rata kekuatan tarik maksimum Bejana *clading* normal, Terkorosi 60, 120, dan 132 Hari

Waktu (Hari)	Tegangan Tarik Maksimum σ_u (Mpa)		
	Tanpa Takik (N)	Takik Horizontal	Takik Vertikal (V)
0	342.82	310.72	226.05
60	317.76	307.89	272.32
120	308.48	283.89	264.05
132	271.73	266.8	256.53



Gambar 6. Grafik Tegangan Tarik Maksimum terhadap Lama Korosi

Gambar 6 memperlihatkan penurunan kuat tarik maksimum setelah mengalami korosi dalam lingkungan gas elpiji pada tekanan 10 Mpa, yang berlangsung selama 60, 120, dan 132 hari. Bahan yang terkuat adalah bahan tanpa retakan sebelumnya (N), kemudian disusul dengan bahan dengan retak vertikal (H), lalu kemudian disusul dengan retakan horizontal (V). Bentuk retak mempengaruhi penurunan kuat tarik maksimum, yaitu bahan yang terkuat adalah bahan yang tidak mengalami retak (N), disusul kemudian bahan dengan retak vertikal (H) kemudian retak horizontal (V). Bahan tanpa retak (TT) dan retak vertikal (TV) nilai tegangan tarik tidak memperlihatkan perbedaan yang terlalu jauh. Namun untuk bahan tanpa retak dan retak vertikal menghasilkan penurunan kekuatan yang signifikan, hal ini disebabkan karena pada ujung retak sumbu minor akan mencapai harga yang maksimum yaitu pada kondisi $\Phi = \Pi/2$, maka harga K_I akan besar ini terjadi pada kondisi takik vertikal. Sedang pada kondisi takik horizontal retak terjadi pada ujung sumbu mayor pada kondisi $\Phi = 0$ maka harga K_I menjadi kecil sehingga ketahanan material terhadap tegangan menurun.

2. Analisa Hasil Faktor Intensitas Tegangan (K_I).

Untuk memperoleh nilai faktor intensitas tegangan dari tiap jenis spesimen, perlu terlebih dahulu diketahui dua kontribusi terhadap nilai faktor intensitas tegangan, yaitu tegangan keliling dan tekanan dalam bejana. Retak dalam bejana tekan dengan tekanan dalam akan beraksi juga pada permukaan retak selain tegangan keliling, dan satu kontribusi terhadap faktor intensitas tegangan maksimum.

Menurut Ewalds, H.L dan Wanhill R.J.H (1985) pengaruh tegangan keliling diperoleh:

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

Menurut Fontana (1987). Hampir semua lingkungan bersifat korosif dengan beberapa tingkatan. Sebagai contoh udara dan kelembaban, uap dan gas (klor, amonia, sulfida hidrogen, sulfur dioksida dan bahan bakar gas).

Korosi tegangan umum terjadi pada logam yang diberi beban dalam lingkungan korosif. Mekanisme korosi tegangan belum sepenuhnya dipahami, salah satu kemungkinannya adalah bahwa korosi berlangsung sangat cepat di ujung retak, di mana konsentrasi tegangan tinggi (Laerenc H. Van Vlack, 1989).

Hasil Faktor Intensitas Tegangan (K_I) Bejana Tekan Clading Normal

Intensitas tegangan maksimum akan terjadi pada ujung sumbu minor pada permukaan cacat ($\varphi = 90^0$).

$$K_{I \text{ maks}} = K_I \sigma_H + K_I P = \frac{CPr \sqrt{\pi a}}{B\Phi} + \frac{CP \sqrt{\pi a}}{\Phi} = \frac{CP \left(1 + \frac{r}{B} \right) \sqrt{\pi a}}{\Phi}$$

Dengan C adalah faktor intensitas tegangan retak permukaan plat bentuk eliptik menurut Raju dan Newman untuk $B \gg c$ nilai C tergantung pada a/c, a/b, dan φ , dan nilai C pada table 2. Nilai φ dihasilkan dengan penyelesaian integral bentuk eliptik untuk nilai dari perbandingan a/c pada tabel 13 berikut ini:

Tabel 13. Faktor Intensitas Tegangan C untuk Retak Permukaan Plat yang Semi Eliptik menurut Raju dan Newman

a/c		$\kappa = \frac{\sigma_H \sqrt{\pi a}}{\Phi}$			
		C			
		a/t			
		0.2	0.4	0.6	0.2
0.2	0^0	0.617	0.724	0.899	1.190
	45^0	0.930	1.122	1.384	1.667
	90^0	1.173	1.359	1.642	1.651
0.4	0^0	0.767	0.896	1.090	1.313
	45^0	0.998	1.075	1.247	1.374
	90^0	1.133	1.225	1.370	1.447
0.6	0^0	0.916	1.015	1.172	1.353
	45^0	1.024	1.062	1.182	1.243
	90^0	1.110	1.145	1.230	1.264
1.0	0^0	1.174	1.229	1.355	1.464
	45^0	1.067	1.104	1.181	1.193
	90^0	1.049	1.062	1.107	1.112

Tabel 14. Penyelesaian integral untuk rasio a/c

a/c	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
Φ	1.00	1.016	1.051	1.097	1.151	1.211

a/c	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	
Φ	1.277	1.345	1.418	1.493	1.571	

Sumber: Ewalds, H.L., and Wanhill R.J.H. (1985)

Pada tabel di atas nilai C=1,359 ; Φ=1.051; a/c= 0,2; a/t=0,4 intensitas tegangan maksimum:

$$K = \frac{1.359 P \left(1 + \frac{46}{5}\right) \sqrt{\pi \cdot 0.002}}{1.051}$$

$$K_{I \max} = 2.2042 P \text{ MPa } \sqrt{m}$$

Tekanan yang digunakan untuk tabung tekan sebagai tekanan uji, didasarkan pada kekuatan material tabung cladding normal pada batas mulur (tegangan yielding), σ_y yang terendah yaitu pada tabung *cladding* normal $\sigma_y = 97,68 \text{ MPa}$, maka tekan yang digunakan untuk tabung uji berdasarkan tegangan luluh yaitu:

$$P = \frac{\sigma_y t}{r}$$

Dengan: $\sigma_y = 97,68 \text{ MPa}$; $r = 46 \text{ mm}$; $t = 5 \text{ mm}$, maka:

$$P = \frac{97,68 \times 5}{46} = 10,617 \text{ Mpa}$$

Maka faktor intensitas tegangan maksimum adalah:

$$\begin{aligned} K_{I \max} &= 2.2042 P \text{ MPa } \sqrt{m} \\ &= 2.2042 \times 10,617 \text{ MPa } \sqrt{m} \\ &= 23,403 \text{ MPa } \sqrt{m} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan persamaan Ewalds,H.L dan Wanhill R.J.H (1985)

$$K_{I \max} = K_1 \sigma_H + K_1 P = \frac{CP \left[1 + \frac{r_i}{t}\right] \sqrt{\pi a}}{\phi} \text{ dengan, } Pr_i/t = \sigma_H \text{ (tegangan keliling);}$$

P=tekanan dalam bejana tekan (Mpa); r_i = jari-jari bejana (cm); t= tebal bejana (cm) didapatkan Faktor Intensitas Tegangan (K_I), seperti diperlihatkan pada tabel 15 hingga tabel 18 yang dimulai dari bejana normal hingga masing-masing bejana tekan dengan selang waktu korosi 60 hingga 132 hari sebagai berikut:

Tabel 15. Faktor Intensitas Tegangan Bejana Tekan *Cladding* Normal

Bejana	Takik	P (Mpa)	KI maks (Mpa√m)
1	N1	27.35652174	60.29924522
2	N2	26.85217391	59.18756174
3	N3	27.28695652	60.14590957
4	N4	27.04347826	59.60923478
5	N5	27.26086957	60.0884087
6	N6	26.73913043	58.9383913
Rata-rata		27.08985507	59.71145855
1	H1	26.35652174	58.09504522

2	H2	26.43202208	58.26146308
3	H3	25.91578227	57.12356727
4	H4	26.11243207	57.55702276
5	H5	25.85102797	56.98083586
6	H6	25.63545151	56.50566221
Rata-rata		26.05053961	57.4205994
1	V1	24.13043478	53.18830435
2	V2	24.17184265	53.27957557
3	V3	24.99144129	55.08613489
4	V4	24.72826087	54.50603261
5	V5	24.35119649	53.67490731
6	V6	24.34782609	53.66747826
Rata-rata		24.45350036	53.9004055

Hasil Faktor Intensitas Tegangan (K_I) Bejana Tekan Clading Terkorosi 60 hari

Tabel 16. Faktor Intensitas Tegangan (K_I)
Bejana Tekan Clading Terkorosi 60 hari

Bejana	Takik	P (Mpa)	KI maks (Mpaem)
1	N1	16.73043478	36.87722435
2	N2	16.63478261	36.66638783
3	N3	16.73913043	36.8963913
4	N4	16.30434783	35.93804348
5	N5	16.62608696	36.64722087
6	N6	17	37.4714
Rata-rata		16.67246377	36.74944464
1	H1	12.67826087	27.94542261
2	H2	13.1826087	29.05710609
3	H3	13.92173913	30.68629739
4	H4	13.91304348	30.66713043
5	H5	13.95652174	30.76296522
6	H6	14.09565217	31.06963652
Rata-rata		13.62463768	30.03142638
1	V1	11.80869565	26.02872696
2	V2	11.86956522	26.16289565
3	V3	10.82608696	23.86286087
4	V4	10.93043478	24.09286435
5	V5	11.52173913	25.39621739
6	V6	11.52173913	25.39621739
Rata-rata	11.41304348	25.10871304	25.10871304

Hasil Faktor Intensitas Tegangan (K_I) Bejana Tekan Clading Terkorosi 120 hari.

Tabel 17. Faktor Intensitas Tegangan (K_I)
Bejana Tekan Clading Terkorosi 120 hari.

Bejana	Takik	P (Mpa)	KI maks (Mpaem)
1	N1	11.42608696	25.18538087

2	N2	16.63478261	36.66638783
3	N3	16.73913043	36.8963913
4	N4	16.63478261	36.66638783
5	N5	16.77391304	36.97305913
6	N6	16.8173913	37.06889391
Rata-rata		15.83768116	34.90941681
1	H1	12.67826087	27.94542261
2	H2	13.1826087	29.05710609
3	H3	13.92173913	30.68629739
4	H4	13.35652174	29.44044522
5	H5	13.26086957	29.2296087
6	H6	14.09565217	31.06963652
Rata-rata		12.79710145	28.20737101
1	V1	11.80869565	26.02872696
2	V2	11.86956522	26.16289565
3	V3	10.82608696	23.86286087
4	V4	10.56521739	23.28785217
5	V5	10.5826087	23.32618609
6	V6	20.2	44.52484
Rata-rata		12.64202899	27.86556029

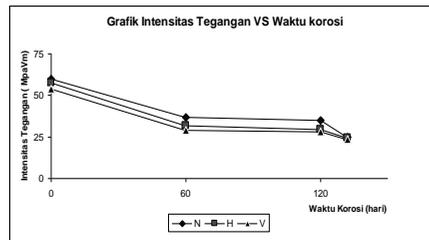
Hasil Faktor Intensitas Tegangan (K_I) Bejana Tekan *Cladding* Terkorosi 132 hari.

Tabel 18. Faktor Intensitas Tegangan (K_I)
Bejana Tekan *Cladding* Terkorosi 132 hari.

Bejana	Takik	P (Mpa)	KI maks (Mpaem)
1	N1	12.0173913	26.48873391
2	N2	10.56763285	23.29317633
3	N3	11.25470729	24.80762581
4	N4	11.19225543	24.66996943
5	N5	11.1223458	24.51587462
6	N6	11.20401338	24.69588629
Rata-rata		11.23086654	24.75507602
1	H1	10.86956522	23.95869565
2	H2	11.55969634	25.47988268
3	H3	11.29750086	24.90195139
4	H4	11.33661685	24.98817086
5	H5	10.49039434	23.1229272
6	H6	10.45150502	23.03720736
Rata-rata		11.00087977	24.24813919
1	V1	10.86956522	23.95869565
2	V2	10.52449965	23.19810214
3	V3	10.69839096	23.58139336
4	V4	10.61480978	23.39716372
5	V5	10.61480978	23.39716372
6	V6	10.53252444	23.21579036
Rata-rata		10.64243331	23.45805149

Tabel 19. Tabel Rata-Rata Intensitas Tegangan Maksimum Bejana Cladding Normal, Terkorosi 60, 120, dan 132 Hari

Waktu (Hari)	Intensitas tegangan maksimum K_{maks} (MPaem)		
	Tanpa Takik (N)	Takik Horizontal	Takik Vertikal (V)
0	59.8776	58.2867	54.2872
60	36.8133	29.2296	25.3515
120	31.5105	28.2274	24.7125
132	25.0576	24.9809	23.767



Gambar 7. Grafik Intensitas Tegangan terhadap Lama Korosi

Grafik gambar 7 menunjukkan perkiraan besar beban yang mampu ditahan oleh tabung cladding uji baik yang tidak ditakik maupun yang ditakik. Dari grafik menunjukkan pengaruh penurunan intensitas tegangan yang signifikan pada material dalam lingkungan korosif yang bertekanan, ini berlangsung hingga selang waktu 60 hari, baik untuk specimen tanpa takik maupun specimen takik vertikal serta takik horizontal. Setelah hari ke 120 hingga hari ke 132. Pengaruh tekanan, lingkungan korosi dan lamanya material dalam lingkungan media yang korosif adalah merupakan kombinasi untuk menimbulkan retak. Namun dalam menganalisisnya material dianggap telah mengandung retak, dan perhitungan perambatan (propagasi) retak didasarkan pada lamanya material dalam lingkungan yang korosif. Dari hasil perhitungan rata-rata yang telah digrafikkan menunjukkan penurunan intensitas tegangan material uji. Geometri dari bentuk retakan menunjukkan perbedaan intensitas tegangan yang cukup kecil, menandakan bahwa geometri retak tidak terlalu mempengaruhi perambatan (propagasi) retak. Dari gambar 7 grafik intensitas tegangan menunjukkan perambatan retak yang cukup cepat pada selang waktu korosi 60 hari, dimana intensitas tegangan prppotional terhadap laju korosi. Sedang pada kondisi waktu korosi setelah 60 hari memperlihatkan perambatan retak yang yang tidak proportional lagi memperlihatkan intensitas tegangan cenderung konstan.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Gas Elpiji dengan tekanan 10 Mpa sebagai media korosi menurunkan kekuatan tarik dari material cladding, bervariasi sejalan dengan waktu material cladding berada di dalam media gas elpiji serta dipengaruhi oleh arah takik.
2. Efek gas elpiji bertekanan sebagai medium korosi terhadap nilai faktor intensitas tegangan menunjukkan perubahan yang signifikan bervariasi sejalan dengan lamanya material dalam medium gas elpiji yang bertekanan.
3. Faktor tegangan intensitas retak kritis material, baik material normal, Vertikal dan horisontal mulai terjadi perambatan retak (propagasi) hingga lamanya waktu korosi 120 hari, setelah itu material mengalami penurunan intensitas tegangan kritis yang cepat.

Saran-Saran

1. Sebagai bahan pembanding sebaiknya dibuat tabung *cladding* tanpa menggunakan media korosi dan tidak bertekanan.
2. Pengujian dapat digunakan medium korosi yang bervariasi dan lama material dalam medium korosif lebih variatif.

V. 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.

Dieter, G.E., 1992, *Metalurgi Mekanik*, Edisi Ketiga, Erlangga, Jakarta.

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.

Gibson, R.F., 1994, *Principles Of Composite Material Mechanics*, McGraw-Hill, Inc.

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

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

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

83 Yosrihard Basongan, *Analisis Efek Gas Korosif terhadap Propagasi Retak Material Clading (Baja-Tembaga) untuk Material Bejana Tekan dengan Uji Kuat Tarik*

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

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

Program Pascasarjana Universitas Hasanuddin, 2004, *Pedoman Penulisan Tesis dan Disertasi*, Makassar.

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 Rekayasawan*, 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.