

## **Analisis Kecepatan Propagasi Retak Pipa Distribusi Bahan Bakar Minyak dalam lingkungan Korosif. (*The Analysis of crack propagation rate on oil fuel pipelines in the corrosion area*)**

Mahlina Ekawati

Akademi Teknik Industri Makassar (ATIM)  
Jalan Sunu No.220 Makassar 90111  
E-mail: emahlina@yahoo.com

### **Abstrak**

Kegagalan pada material dapat disebabkan oleh adanya cacat atau retak yang merupakan fase pemicuan kemudian dilanjutkan dengan fase pertumbuhan dari cacat tersebut. Retak mungkin sudah terdapat pada material akibat proses pengolahan, pembebanan atau korosi. Contoh kegagalan adalah yang terdapat pada pipa distribusi bahan bakar minyak seperti kebocoran pipa, pecah pipa dan ledakan. Pipa distribusi bahan bakar minyak merupakan jaringan pipa yang digunakan untuk menyalurkan minyak dari sumur minyak ke unit pengumpul, ke unit proses, ke unit penampungan, ke kilang, ke depot dan ke stasiun pompa/boster. Korosi disebabkan oleh fluida yang ditransportasikan melalui pipa distribusi yaitu bahan bakar minyak (bensin dan solar). Pembuatan pipa cladding sebagai pipa distribusi bahan bakar minyak dimaksudkan untuk meminimumkan efek korosi dengan memadukan material induk (pipa baja karbon AISI 1020) dengan material lapis pelindung (pipa tembaga) yang resisten terhadap korosi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efek bahan bakar minyak (bensin dan solar) dan pembebanan terhadap kekuatan dan ketahanan perambatan retak pipa *cladding* dengan mengasumsi ada retak awal pada material. Pengujian yang dilakukan adalah uji korosi dengan waktu korosi 3 minggu, 6 minggu dan 9 minggu. Setelah uji korosi dilakukan pengujian mekanis yaitu uji tarik untuk mendapatkan nilai kekuatan bahan dan nilai faktor intensitas tegangan atau nilai ketangguhan perpatahan. Uji lentur dilakukan untuk mendapatkan nilai defleksi dan nilai elastisitas dan uji ring C untuk mendapatkan nilai elastisitas, nilai faktor intensitas tegangan dan nilai faktor intensitas tegangan kritis retak korosi tegangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan semakin lamanya waktu korosi, terjadi penurunan kekuatan dan ketahanan perambatan retak pipa *cladding* yang digunakan sebagai pipa distribusi bahan bakar minyak. Nilai faktor intensitas tegangan kritis retak korosi tegangan (Kt) atau ketahanan pertumbuhan retak pada spesimen normal tanpa takik yaitu 3755, 658 Mpa  $\sqrt{m}$ , takik vertikal yaitu 3103.467 Mpa  $\sqrt{m}$  dan takik horisontal yaitu 2543.84 Mpa  $\sqrt{m}$ . Untuk waktu korosi 3 minggu dalam lingkungan bensin pada spesimen normal tanpa takik yaitu 2567.05 Mpa  $\sqrt{m}$ , takik vertikal yaitu 2299.08 Mpa  $\sqrt{m}$  dan takik horisontal yaitu 1995.38 Mpa  $\sqrt{m}$ . Untuk waktu korosi 3 minggu dalam lingkungan solar pada spesimen normal tanpa takik yaitu 1771.22 Mpa  $\sqrt{m}$ , takik vertikal yaitu 1188.85 Mpa  $\sqrt{m}$  dan takik horisontal yaitu 991.062 Mpa  $\sqrt{m}$ . Faktor lingkungan (bensin dan solar), pembebanan, retak awal dan posisi retak berpengaruh terhadap kecepatan perambatan retak pipa *cladding*. Spesimen dalam lingkungan bensin mempunyai nilai ketahanan pertumbuhan retak yang lebih tinggi dibandingkan lingkungan solar akibat kandungan unsur sulfur yang korosif lebih besar pada solar. Posisi retak vertikal mempunyai nilai ketahanan pertumbuhan retak lebih tinggi dibanding posisi retak horisontal.

**Keywords:** cladding, waktu korosi, perambatan retak, lingkungan korosif dan nilai ketangguhan perpatahan

### **Pendahuluan**

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 dasar akibat proses pengolahan, ataupun terbentuk akibat aksi mekanik atau korosi yang ditandai dengan adanya cacat atau rusaknya lapisan oksida

pelindung yang terdapat pada permukaan logam. Kombinasi aksi mekanik atau pembebanan dengan lingkungan yang korosif dikenal sebagai retak korosi tegangan (SCC) dengan salah satu ciri adalah retak korosi tegangan (SCC) tidak dapat diduga datangnya, bahan yang dipilih karena ketahanannya terhadap korosi, ternyata gagal pada tingkat tegangan jauh dibawah perpatahan normalnya.

Salah satu masalah yang ditimbulkan oleh retak korosi tegangan (SCC) adalah aplikasinya dalam dunia industri sebagai contoh adalah industri perminyakan yang menggunakan pipa distribusi bahan bakar minyak

yang merupakan jaringan pipa yang digunakan untuk menyalurkan minyak dari sumur minyak ke unit pengumpul, ke unit proses, ke unit penampungan, ke kilang, ke depot dan ke stasiun pompa/boster. Teknologi yang digunakan dalam kegiatan pertambangan minyak dan gas memerlukan peralatan yang sebagian besar menggunakan baja (steel) yang merupakan jenis material yang mempunyai keuntungan mudah didapat, murah dan kuat jika dibandingkan dengan jenis material lainnya, tetapi material baja mempunyai kerugian tidak tahan terhadap korosi, sedangkan lokasi kegiatan pertambangan minyak dan gas terdapat di daratan, rawa dan laut yang semuanya merupakan lingkungan korosif terhadap material baja, disamping itu yang paling banyak menimbulkan korosi adalah fluida reservoir yang korosif mengandung sulfur, merkuri, H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub>, Nitrogen dan unsur garam, oleh karena itu salah satu teknologi yang digunakan saat ini adalah dengan menggunakan *metal cladding* sebagai pipa distribusi bahan bakar minyak. Untuk keperluan struktur biasa digunakan baja karbon pada bagian luar dan untuk bagian dalam digunakan tembaga yang mempunyai ketahanan terhadap korosi.

Bahan bakar minyak termasuk lingkungan yang korosif terhadap *metal* yang kontak dengannya, hal ini disebabkan karena semua bahan bakar minyak mengandung sulfur dalam jumlah yang sangat kecil dan bersifat merusak, oleh karena itu jumlah kandungan sulfur dalam bahan bakar minyak dibatasi (dibawah 1%). Wujud Kerusakan yang ditimbulkan dapat berupa retak korosi tegangan (SCC) yang menimbulkan keretakan hingga terjadi kegagalan katastrofik seperti kebocoran pipa, pecah pipa dan ledakan. Sebagai contoh pipa distribusi minyak mentah PT. Caltex Pasific Indonesia di Riau selama tahun 1996 sampai 1997 telah terjadi kebocoran 66 kejadian, 48 kejadian kebocoran akibat korosi luar dan 8 kejadian akibat korosi dalam. Biaya pemeliharaan yang diperlukan akibat korosi tersebut seperti penggunaan bahan kimia dapat mencapai US \$ 600.000 pertahun, sedangkan untuk pemeliharaan lainnya dapat mencapai US \$300.000 pertahun.

### Metoda Eksperimen & Fasilitas Yang Digunakan

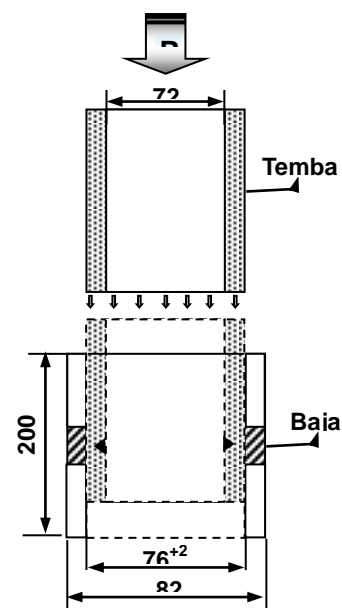
#### Desain Metal Cladding

Bahan yang akan dibentuk *metal cladding* yaitu baja karbon dan tembaga yang diuji tarik terlebih dahulu berdasarkan standar spesimen tarik

SII N0 0318 – 80 N0 5, untuk mengetahui kekuatannya. Data kekuatan ini digunakan sebagai tekanan pada saat dilakukan penekanan pipa tembaga pada pipa baja agar tidak terjadi deformasi pada saat penekanan.

Penekanan didasarkan pada kekuatan bahan yang ditekan yaitu bahan tembaga pada tegangan mulur (yield) yaitu 156,9 Mpa, sehingga tekanan yang digunakan adalah 11,23 Mpa.

Proses pembuatan metal cladding dengan metode *cladding* yaitu: Bahan induk dari pipa baja karbon AISI 1020 ukuran  $\phi$  3,25", pipa dipotong dengan panjang 200 mm, dibubut diameter dalam disesuaikan dengan diameter luar dari pipa tembaga. Pada bagian yang akan dijadikan spesimen uji diberi takik. Urutan pembuatan *metal cladding* baja-tembaga) ditunjukkan pada gambar 1 dibawah :



Gambar 1. Urutan proses pembuatan pipa cladding dengan metoda *metal cladding*



Gambar 2. Pembuatan *metal cladding* pada mesin uji tarik Tipe PM 10 Galdabini

### Instalasi Uji Korosi

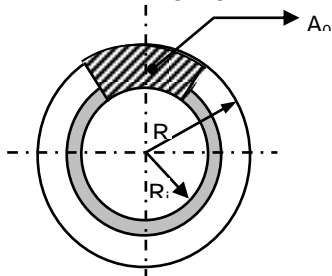
Setelah pembuatan *metal cladding* seperti gambar 2, kemudian dilakukan uji korosi. *Metal cladding* baja-tembaga dimasukkan dalam lingkungan korosif (bahan bakar bensin dan solar) : *metal cladding* I selama 3 minggu, *metal cladding* II selama 6 minggu, *metal cladding* III selama 9 minggu. Setelah 3 minggu *metal cladding* I dilepas, dan dilakukan pemeriksaan visual dan pengujian mekanis. Hal yang sama dilakukan pada *metal cladding* II dan *metal cladding* III setelah waktu pengujian 6 minggu dan 9 minggu.

### Pengujian Mekanis

Uji mekanis yang dilakukan yaitu uji kekuatan tarik, kekuatan lentur dan uji ring C

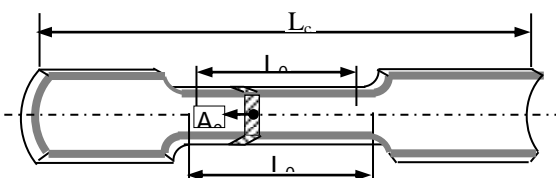
### Uji Tarik.

Uji tarik dilakukan pada material pipa baja karbon dan pipa tembaga untuk membandingkan kekuatannya dengan *metal cladding*, setelah itu dilakukan uji tarik *metal cladding* sebelum dan setelah uji korosi. Sebelum uji tarik dilakukan terlebih dahulu dibuat standar uji dengan mengacu pada standar industri Indonesia (SII) No. 12 Tahun 1981 seperti pada gambar 3 dan 4. Uji tarik dilakukan untuk memperoleh nilai kekuatan tarik dan faktor intensitas tegangan (K) *metal cladding*.

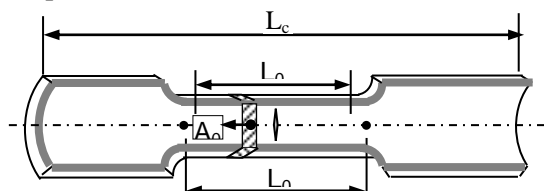


Gambar 3. Penampang *metal cladding* dan bagian penampang sebagai sampel

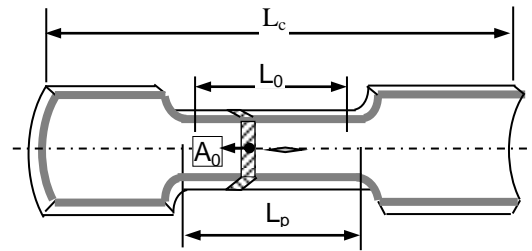
#### Spesimen uji tarik Normal (NP)



#### Spesimen Retak Vertikal (VP)



#### Spesimen Retak Horizontal (HP)



Gambar 4. Spesimen uji tarik *metal cladding*

Keterangan :

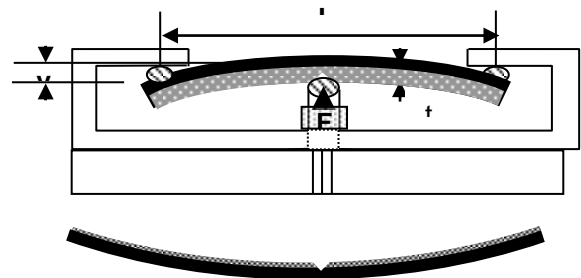
$A_0$  = Luas penampang ( $\text{mm}^2$ ) ;  $L_0$  = Panjang Ukur = 50 (mm) Tebal specimen ( $T_0$ ) = 5 mm;  $L_p$  = Panjang parallel = 60 (mm) ; Kedalaman Takikan ( $a$ ) = 2 mm ; Sumbu terpanjang takikan ( $c$ ) = 10 mm ;  $r_0$  = 46 mm



Gambar 5. Proses Uji Tarik pada mesin uji tarik Tipe PM 10 Galdabini

### Uji Lentur

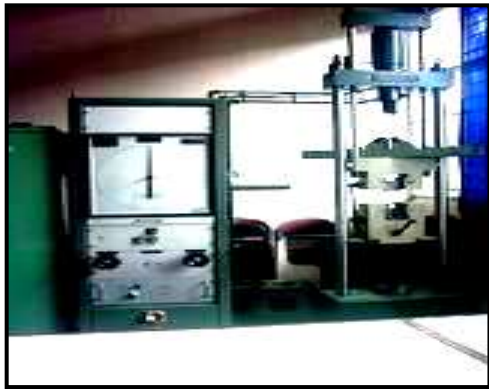
Uji lentur dilakukan untuk menentukan elastisitas dan defleksi material dengan sampel seperti pada gambar 6. Data yang didapatkan dari pengujian ini digunakan untuk menganalisa defleksi dan elastisitas material akibat korosi.



Gambar 6. Sampel Uji Lentur

Keterangan :  $y$  = Defleksi (mm) ; Beban lentur (N) ;  $t$  = tebal spesimen *cladding* = 5

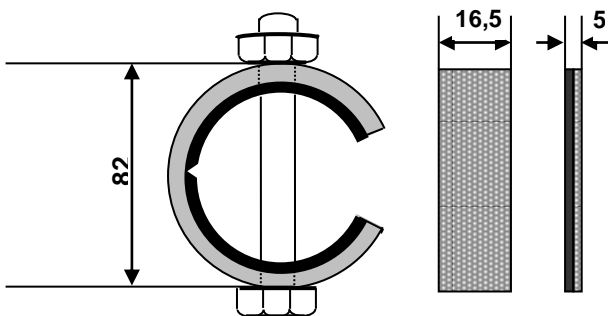
mm ; L = jarak tumpuan = 52 mm.



Gambar 7 . Pengujian defleksi tiga titik pada mesin uji tarik Tipe PM 10 Galdabini

### Uji Ring C

Uji ring C dilakukan untuk menentukan elastisitas, faktor intensitas tegangan (K), faktor intensitas tegangan kritis retak korosi tegangan (Kt) atau ketahanan pertumbuhan retak dengan sampel seperti pada gambar 8.



Gambar 8. Sampel Uji Ring C

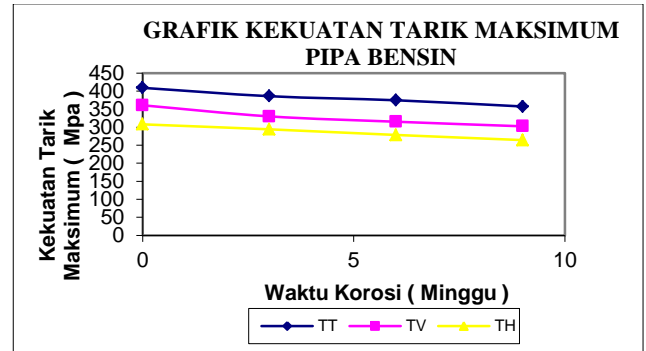


Gambar 9. Proses Pengujian Ring C pada mesin uji tarik Tipe PM 10 Galdabini

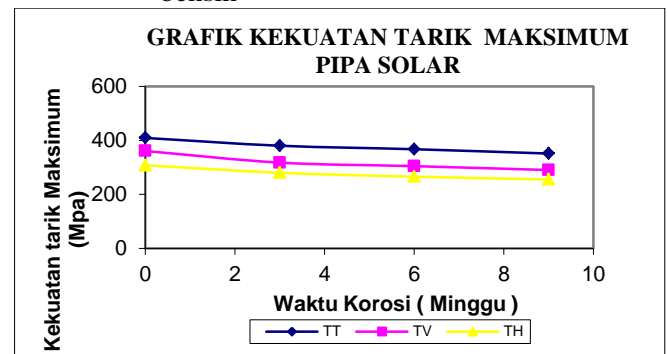
## Hasil dan Pembahasan

### Kekuatan Maksimum ( $\sigma_m$ )

Berdasarkan nilai kekuatan tarik maksimum ( $\sigma_m$ ) diperoleh grafik hubungan kekuatan tarik maksimum ( $\sigma_m$ ) metal cladding dengan waktu korosi ditunjukkan pada gambar 10 dan gambar 11.



Gambar 10. Grafik kekuatan tarik maksimum ( $\sigma_m$ ) pipa bensin



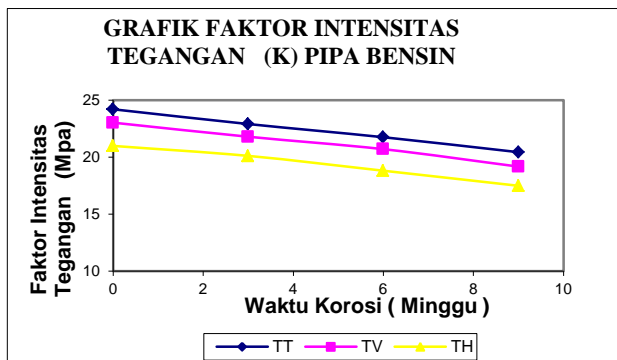
Gambar 11. Grafik kekuatan tarik maksimum ( $\sigma_m$ ) pipa solar

Gambar 10 dan gambar 11 menunjukkan bahwa waktu perendaman dalam lingkungan korosi berpengaruh terhadap kekuatan tarik maksimum ( $\sigma_m$ ), dengan hasil yang diperoleh memperlihatkan semakin lama waktu korosi, nilai kekuatan tarik maksimum ( $\sigma_m$ ) mengalami penurunan baik dalam lingkungan korosi bensin dan solar untuk material tanpa takik (TT), takik vertikal (TV) dan takik horisontal (TV). Untuk pipa distribusi bahan bakar bensin dan solar yang memiliki kekuatan tarik maksimum tertinggi adalah material tanpa takik atau cacat (TT), disusul material takik vertikal (TV) dan takik horisontal (TH). Nilai kekuatan tarik maksimum ( $\sigma_m$ ) untuk takik vertikal (TV) dan takik horisontal (TH) tidak memperlihatkan perbedaan yang terlalu jauh bila dibandingkan antara material tanpa takik (TT) dengan takik vertikal (TV), hal ini disebabkan karena pada material dengan takik atau cacat akan terjadi konsentrasi tegangan pada sekitar cacat atau takik bila diberikan beban sehingga

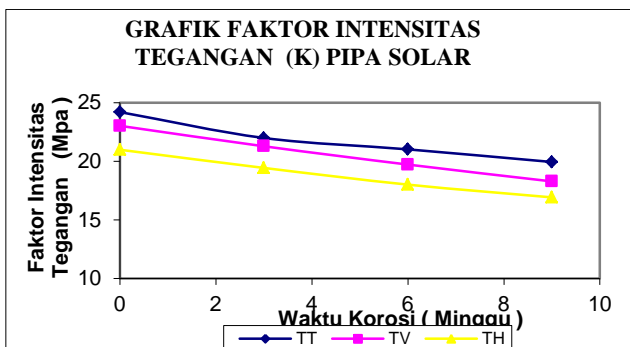
berpengaruh pada kekuatannya. Nilai kekuatan tarik maksimum ( $\sigma_m$ ) untuk pipa distribusi solar lebih rendah dibandingkan pipa distribusi bensin, baik untuk material tanpa takik (TT), takik vertikal (TV), maupun takik horisontal (TH) hal ini disebabkan karena adanya kandungan sulfur yang tinggi pada solar (0,5 %) yang mempercepat terjadinya korosi sehingga semakin lama waktu perendaman maka nilai kekuatan tarik maksimum ( $\sigma_m$ ) mengalami penurunan yang lebih besar.

### Faktor Intensitas Tegangan (K)

Grafik hubungan faktor intensitas tegangan (K) atau nilai ketangguhan perpatahan *metal cladding* dengan waktu korosi ditunjukkan pada gambar 12 dan gambar 13 dibawah :



Gambar 12. Grafik Faktor intensitas Tegangan (K) Pipa Bensin



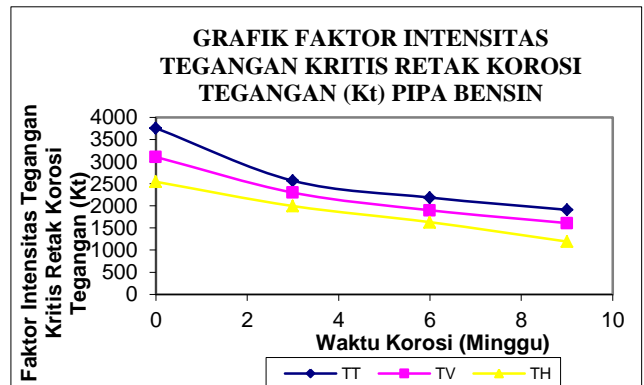
Gambar 13. Grafik Faktor intensitas Tegangan (K) Pipa Solar

Gambar 12 dan Gambar 13 menunjukkan nilai intensitas tegangan (K) atau ketangguhan perpatahan mengalami penurunan dalam lingkungan korosif bensin maupun solar dengan semakin lamanya waktu korosi. Dari grafik terlihat nilai intensitas tegangan (K) untuk material tanpa takik (TT) dan takik vertikal (TV) penurunannya cenderung kecil dibandingkan antara takik vertikal (TV) dan takik horisontal

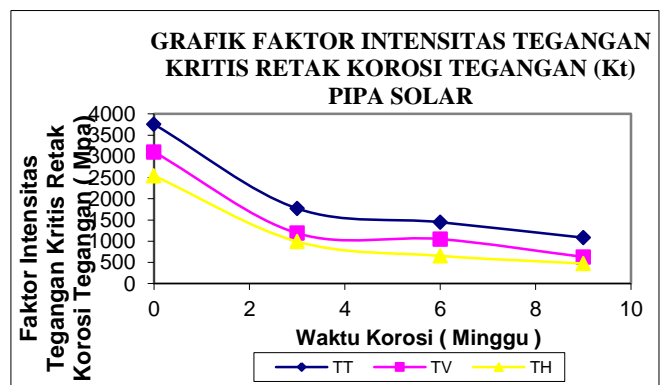
(TH). Hal ini disebabkan karena konsentrasi tegangan diujung takik lebih besar pada takik horisontal akibat arah beban yang tegak lurus dengan arah takik sehingga intensitas tegangan menjadi lebih besar dan ujung takik atau cacat menjadi kritis dan merambat dengan cepat sampai terjadi kegagalan, sehingga nilai ketangguhan perpatahan atau intensitas tegangan lebih kecil. Nilai intensitas tegangan (K) untuk pipa distribusi solar lebih rendah dibandingkan pipa distribusi bensin, tapi penurunannya cenderung kecil kecuali untuk takik horisontal (TH). Hal ini membuktikan intensitas tegangan diujung retak dipengaruhi oleh posisi takik yaitu pembukaan retaknya.

### Faktor Intensitas Tegangan Kritis Retak Korosi Tegangan (Kt)

Grafik hubungan nilai faktor intensitas tegangan kritis retak korosi tegangan (Kt) atau ketahanan pertumbuhan retak *metal cladding* dengan waktu korosi ditunjukkan pada gambar 13 dan gambar 14 dibawah :



Gambar 13. Grafik Faktor Intensitas Tegangan Kritis Retak Korosi Tegangan (Kt) Pipa bensin



Gambar 14. Grafik Faktor Intensitas Tegangan Kritis Retak Korosi Tegangan (Kt) Pipa solar

Gambar 13 dan gambar 14 menunjukkan bahwa semakin lama waktu korosi maka nilai faktor intensitas tegangan kritis retak korosi tegangan (Kt) mengalami penurunan untuk keseluruhan material baik

tanpa takik maupun dengan takik dengan penurunan terbesar adalah antara material tanpa takik (TT) dengan takik vertikal (TV) dibandingkan material takik vertikal (TV) dengan takik horisontal (TH). Hal ini menunjukkan nilai faktor intensitas tegangan kritis retak korosi tegangan (Kt) sangat dipengaruhi adanya cacat atau takik sebagai fase *initiaton* ditambah dengan faktor lingkungan yang korosif yang merupakan kombinasi terjadinya retak korosi tegangan (SCC). Dengan semakin lamanya waktu perendaman menyebabkan produk korosi menutupi retak dan menghalangi pertukaran antara lingkungan di dalam retak tadi dengan daerah sekitarnya, sehingga pH atau derajat keasaman dalam retak berbeda dengan daerah sekitarnya dan lebih peka terhadap penjarangan (pertumbuhan) retak. Retak tumbuh sampai mencapai ukuran kritis dan terjadi kegagalan. Nilai faktor intensitas tegangan kritis retak korosi tegangan (Kt) untuk pipa distribusi solar lebih rendah dibandingkan pipa distribusi bensin baik untuk material tanpa takik (TT), takik vertikal (TV) dan takik horisontal (TH) dengan perbedaan nilai yang cukup besar. Hal ini menunjukkan bahwa nilai faktor intensitas tegangan kritis retak korosi tegangan (Kt) sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan selain cacat atau retak. Unsur sulfur yang terdapat pada solar kemungkinan terserap ke dalam material dan melemahkan ikatan atom pada ujung retak yang menyebabkan terjadinya pertumbuhan retak bila ada tegangan. Perambatan retak ini makin dipercepat bila tegangan yang bekerja tegak lurus dengan arah takikan atau cacat.

## Kesimpulan

Dari hasil pembahasan dapat disimpulkan :

1. Nilai faktor intensitas tegangan (K) *metal cladding* dalam lingkungan korosif bensin dan solar yang tertinggi adalah pada material tanpa takik (TT), kemudian takik vertikal (TV) dan takik horisontal (TH). Dalam lingkungan bensin 3 minggu nilai K untuk material tanpa takik (TT) yaitu 22, 9033 Mpa  $\sqrt{m}$ , takik vertikal (TV) yaitu 21,7875 Mpa  $\sqrt{m}$  dan takik horisontal (TH) adalah 20,1075 Mpa  $\sqrt{m}$ . Dalam lingkungan solar 3 minggu nilai K untuk material tanpa takik (TT) yaitu 21, 9882 Mpa  $\sqrt{m}$ , takik vertikal (TV) yaitu 21,2803 Mpa  $\sqrt{m}$  dan takik horisontal (TH) adalah 19, 4312 Mpa  $\sqrt{m}$ .
2. Kombinasi pembebanan dan korosi memberikan pengaruh terhadap kecepatan propagasi retak *metal cladding* yaitu dengan

penurunan nilai faktor intensitas tegangan kritis retak korosi tegangan (Kt) dalam lingkungan korosif. Untuk *metal cladding* normal nilai Kt yaitu 3755, 658 Mpa  $\sqrt{m}$ , setelah dalam lingkungan bensin 3 minggu nilai Kt menjadi 2567,05 Mpa  $\sqrt{m}$  dan dalam lingkungan solar 3 minggu nilai Kt adalah 1771, 22 Mpa  $\sqrt{m}$ .

3. Bahan bakar minyak bensin dan solar memberikan pengaruh terhadap ketahanan pertumbuhan retak atau nilai faktor intensitas tegangan kritis retak korosi tegangan (Kt) *metal cladding*. *Metal cladding* dalam lingkungan korosif bensin mempunyai nilai Kt yang lebih tinggi dibandingkan *metal cladding* dalam lingkungan korosif solar, hal ini disebabkan kandungan unsur sulfur yang korosif lebih besar pada solar (0,5%) di banding bensin (0,2 %) dan terserap pada ujung retak sehingga menyebabkan perambatan retak dalam lingkungan solar lebih cepat dibandingkan dalam lingkungan bensin.
4. Kecepatan perambatan retak *metal cladding* Selain dipengaruhi faktor lingkungan yang korosif juga dipengaruhi oleh posisi takik atau cacat dan waktu kontak dalam lingkungan korosif.

## Ucapan Terima kasih

1. Bapak Direktur Akademi Teknik Industri Makassar dan Civitas Akademi Teknik Industri Makassar.
2. Bapak Dr. Ir. Johannes Leonard, DEA.
3. Bapak Yosrihard Basongan, ST, MT.

## Nomenklatur

$\sigma_m$	Kekuatan Tarik Maksimum ( N/mm <sup>2</sup> )
K	Faktor Intensitas Tegangan (Mpa $\sqrt{m}$ )
Kt	Faktor Intensitas Tegangan Kritis Retak Korosi Tegangan (Mpa $\sqrt{m}$ )

## Subsripts

SCC Stress Corrosion Crack  
turb Turbulent

## Referensi

- Amanto, Hari dan Daryanto. Ilmu Bahan. PT. Bumi Aksara, Jakarta (1999)
- Brown, B.F.. Stress-corrosion cracking of metals-a state of the art, ASTM : STP 518, pp 3-15 (1972)
- Brant, D.T. Fundamental Material Science. New York (1980)
- Callister, W.D.Jr. Material Science and Engineering. New York.

Dieter, G.E. *Metalurgi Mekanik*. Edisi ketiga ,  
Jilid 2, Erlangga, Jakarta (1992)

William, F. Smith. *Foundation of Material Sciences and  
Engineering*. Graw Hill Book Co., Singapura (1993)

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

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

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

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

11<sup>th</sup> Internasional Corrosion congress. *Innovation  
and Technology Transfer For Corrosion Control*.  
Volume 4, Associazione Italiana Di Metallurgia  
(1990)

Palungan, M.B. *Analisis Kelelahan Bahan  
Komposit Serat Kaca-Resin Epoksi Untuk Bejana  
Tekan Berdinding Tipis*. Thesis Program  
Pascasarjana Universitas Hasanuddin, Makassar.

Premiere Partie. *La Mechanique de la rupture* .

PEDC Bandung. *Kimia*. Jilid 2, Direktorat  
Jenderal Pendidikan Tinggi Proyek  
Pengembangan Pendidikan Politeknik (1985).

PEDC Bandung. *Ilmu Bahan*. Jilid 4, Direktorat  
Jenderal Pendidikan Tinggi Proyek  
Pengembangan Pendidikan Politeknik.

Swisscontact. *Analisa Kinerja Mesin Bensin  
Berdasarkan Hasil Uji Emisi*. Jakarta (1998)

Tjandaga , Iskandar. *Analisis Keretakan Dinamik  
Dan Penghambat Retak Pada Bahan Komposit  
Serat Kaca Resin Epoksi Untuk Linipipa*. Thesis  
Program Pascasarjana Universitas Hasanuddin,  
Makassar (2004)

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

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

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