

# Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

## M3-016 PENGUJIAN PERETAKAN KOROSI TEGANGAN BAJA STAINLESS AISI 420 MENGUNAKAN MODEL C-RING

**Athanasius P. Bayuseno**

Program Studi Magister Teknik Mesin, Program Pascasarjana Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Tembalang, Semarang 50255  
Tel. 024-7460059; Fax 024-7460059 ext 102;

E-mail: [abayuseno@yahoo.com](mailto:abayuseno@yahoo.com)

### ABSTRAK

Peretakan korosi tegangan (*stress corrosion cracking*) merupakan kegagalan material akibat pengaruh lingkungan korosif serta tegangan tarik yang bekerja secara berkelanjutan. Kegagalan material akibat korosi ini seringkali tidak dapat diprediksi, karena berlangsung secara cepat dan sangat berbahaya. Kegagalan material dapat terjadi beberapa detik atau bahkan beberapa tahun walaupun tanpa kehadiran bentuk korosi lain seperti korosi sumuran (*crevice corrosion*). Didalam penelitian ini peretakan korosi tegangan pada baja stainless AISI 420 dianalisa dengan menggunakan peralatan sederhana dan bentuk benda uji C-ring. Selanjutnya pelaksanaan penelitian ini menggunakan variasi beban tekan 36 kg dan 52 kg, sementara benda uji tercelup didalam lingkungan korosif NaCl and HCl untuk selama 7 dan 14 hari. Deskripsi matematika tentang distribusi tegangan didalam C-ring diturunkan dengan pendekatan statika kekuatan bahan. Hasil persamaan ini digunakan untuk memprediksi hubungan antara kekuatan patah dan kegagalan material. Hasil penelitian tentang analisa tegangan pada spesimen C-ring *Stainless Steel AISI 420* dengan pembebanan 36 kg dan 52 kg pada media NaCl dan HCl, menunjukkan bahwa tegangan tarik dan tegangan tekan terbesar berada pada bagian midplane ( $0^\circ$ ) yaitu sebesar  $481.24 \text{ N/mm}^2$  dan  $-405.26 \text{ N/mm}^2$  untuk pembebanan 36 kg, sedangkan tegangan tarik dan tegangan tekan terkecil berada pada bagian yang terkena pembebanan langsung ( $90^\circ$ ) yaitu sebesar  $0 \text{ N/mm}^2$  dan  $0 \text{ N/mm}^2$ . Tegangan tarik dan tegangan tekan terbesar berada pada bagian midplane ( $0^\circ$ ) yaitu sebesar  $695.13 \text{ N/mm}^2$  dan  $-585.37 \text{ N/mm}^2$  untuk pembebanan 52 kg, sedangkan tegangan tarik dan tegangan tekan terkecil berada pada bagian yang terkena pembebanan langsung ( $90^\circ$ ) yaitu sebesar  $0 \text{ N/mm}^2$  dan  $0 \text{ N/mm}^2$ . Tegangan yang timbul pada spesimen dengan pembebanan 52 kg lebih besar dibanding kekuatan luluhnya, sedangkan untuk pembebanan 36 kg tegangan yang timbul masih di bawah kekuatan luluhnya. Dengan menggunakan analisa statistika Weibull didapatkan probabilitas ketahanan yang bernilai mendekati 1 sehingga kemungkinan kegagalan patah material bernilai mendekati 0. Dalam hal ini pengaruh dari media pengkorosi sangat dominan terjadinya kegagalan material meskipun tegangan material masih dibawah kekuatan luluhnya. HCL merupakan media pengkorosi yang lebih cepat dibanding dengan NaCL karena HCl memiliki tingkat derajat keasaman yang lebih tinggi dibanding NaCl.

**Kata kunci:** Peretakan korosi tegangan, C-ring and Baja stainless.

# Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

## 1. Pendahuluan

Logam *ferro* (besi dan baja) merupakan material yang banyak dijumpai didalam industri manufaktur maupun konstruksi lepas pantai. Penggunaan logam ini lebih populer dibandingkan dengan material lain seperti polimer dan keramik karena logam memiliki kekuatan yang lebih tinggi, penghantar panas dan listrik yang baik, disamping itu logam memiliki sifat ulet, dan ketahanan aus yang baik. Namun demikian logam juga memiliki beberapa kelemahan jika dibandingkan dengan material polimer dan keramik yaitu mudah terkorosi ketika berinteraksi dengan lingkungan. Selain itu korosi sangat merugikan jika ditinjau dari berbagai aspek seperti biaya dan perawatan [1, hal 6-9]. Selain dari segi biaya korosi dapat menyebabkan antara lain; memboroskan sumber daya alam, tidak nyaman bagi manusia bahkan terkadang korosi sangat membahayakan, kerugian produksi selama pekerjaan terhenti akibat perbaikan, tingginya biaya perawatan, biaya ganti rugi kepada konsumen atas kerusakan akibat korosi, turunnya mutu produk akibat terkontaminasi dari korosi, tingginya biaya bahan bakar dan energi

Bentuk korosi sendiri ada bermacam-macam antara lain: korosi logam tak sejenis, korosi selektif, korosi celah dan korosi sumuran, korosi kavitasi, korosi mikrobiologis, korosi peretakan tegangan (*stress corrosion cracking*-SCC) dan lain-lain sebagainya.

Peretakan korosi tegangan merupakan salah satu sebab kegagalan yang sangat penting didalam peralatan maupun fasilitas yang menggunakan baja stainless [2] (Collins and Monack 1973). Studi tentang fasilitas anjungan lepas pantai menunjukkan bahwa lapisan larutan asam garam terbentuk pada permukaan baja dan baja stainless didalam media tersebut yang merupakan kondisi pelarut aktif [3, 4]. (Gnanamoorthy 1990; Kain 1990). Umumnya bahwa SCC dianggap tidak mungkin terjadi didalam kondisi larutan asam anodik, namun demikian SCC dapat dijumpai didalam berbagai kasus didalam peralatan lepas pantai, oleh sebab itu perhatian tentang studi SCC sangat besar [5] (Oldfield and Todd 1990). Berbagai mekanisme tentang timbulnya SCC didalam material besi dan baja telah dipelajari oleh banyak para ahli [6, 7] (Huang 1988; Newman and Procter 1990), akan tetapi tidak dapat digunakan untuk menerangkan secara cukup tentang jenis SCC. Beberapa makalah ilmiah telah membahas secara khusus tentang pencegahan SCC didalam baja stainless didalam larutan yang mengandung garam [8, 9] (Chen and Wu 1985; Cao *et al* 1991). Chen and Wu (1985) melakukan penelitian tentang pencegahan SCC pada berbagai additif organik dan non-organik maupun pitting korosi pada baja stainless 321 didalam larutan klorida pada pH 2,6 dan suhu 90 °C menggunakan benda uji U dan menyimpulkan pengaruh pencegahan korosi disebabkan karena dampak sinergi diantara amino organik dan ion halida. Cao *et al* (1991) [9] mempelajari berbagai senyawa organik dan nonorganik didalam pencegahan SCC pada baja stainless AISI 321 didalam larutan klorida asam dan menemukan bahwa diantara penghambat yang paling efektif adalah iodides. Didalam makalah ini dibahas tentang pengamatan SCC pada baja stainless AISI 420 dan pengujian dilakukan dengan model benda uji C<sub>ring</sub> didalam larutan NaCl dan HCl. Hasil penelitian dengan model pengujian SCC yang sederhana disajikan dalam makalah ini.

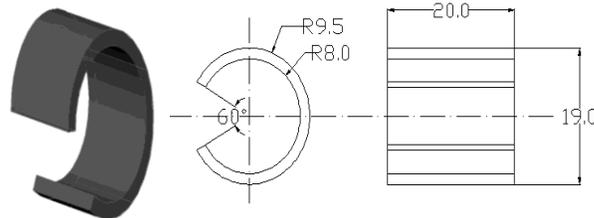
# Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

## 1. Metodologi

### 2.1 Material benda uji

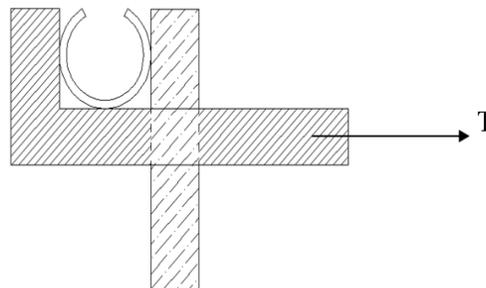
Material yang digunakan untuk pembuatan C-ring adalah baja stainless AISI 420. Benda uji dengan dimensi sebagai berikut : Panjang: 20 mm, Diameter Luar: 19 mm; Diameter Dalam : 16 mm; Tebal: 1.5 mm; Sudut ;  $60^\circ$ . Skema benda uji dapat ditunjukkan dalam gambar 2.1. Pembuatan benda uji dilakukan di laboratorium Metalurgi, FT UNDIP.



**Gambar 2.1** Benda uji C-ring

### 2.2 Peralatan pengujian

Pembuatan peralatan yang akan digunakan untuk pengujian peretakan korosi tegangan dilakukan di Laboratorium Metalurgi Fisik Jurusan Teknik Mesin Universitas Diponegoro. Alat yang akan digunakan mempunyai sifat yang sama dengan spesimen pengujian, untuk menghindari terjadinya reaksi antara 2 logam, yang dapat mempercepat terjadinya korosi dan mampu menahan beban maksimum kg (gambar 2.2).



**Gambar 2.2** Peralatan pengujian korosi peretakan tegangan.

# Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

## 2.3 Larutan untuk pengujian

Sudah dapat diduga bahwa baja stainless sangat sensitif didalam larutan garam. Dalam mempersiapkan larutan untuk pengujian maka 0.25 gram garam krasak (garam yang belum diproses untuk dikonsumsi) dilarutkan pada 2.5 liter aquades didalam bak pengujian, kemudian diaduk hingga rata setelah itu mengukur pH didalam larutan garam (NaCl) tersebut dengan menggunakan pH meter. pH larutan garam (NaCl) yang ditunjukkan oleh pH meter sebesar 7.1. Selanjutnya mengukur suhu larutan garam (NaCl) dengan menggunakan *thermocouple* dan diketahui suhunya sebesar 28 °C. Setelah pengujian dengan larutan NaCl selesai, maka lingkungan pengkorosi diganti dengan HCl dengan cara melarutkan 2.5 liter aquades dengan 0.25 liter HCl, kemudian diaduk secara merata. Setelah itu pH larutan HCl dan suhu HCl diukur dengan metode yang sama. Dari hasil pengukuran diketahui pH HCl sebesar 4.8 dan suhu larutan sebesar 30 °C.

## 2.4 Prosedur pengujian

Pengujian peretakan korosi tegangan dilakukan dengan menimbang benda uji lebih dahulu dengan timbangan neraca digital. Kemudian benda uji ditempatkan pada bak pengujian (gambar 2.2), yang sudah dihubungkan dengan pembebanan sistem katrol dengan beban sebesar 36 kg dan 52 kg dan dilakukan secara bergantian. Pembebanan ini dilakukan untuk memberikan dampak tegangan pada benda kerja didalam media korosif dalam hal ini larutan NaCl ataupun HCl. Setiap benda uji dilakukan perendaman didalam bak selama 14 hari dengan pengambilan data dilakukan pada hari ke 14 baik pengujian dengan media pengkorosi NaCl maupun media pengkorosi HCl.

Setelah pengujian korosi selesai pada alat uji maka setiap benda uji diambil dan dilakukan proses pembersihan kotoran yang bertujuan untuk menghilangkan kotoran dengan menggunakan soda kaustik atau NaOH 10 % dengan lama pencelupan 5 menit. Pembilasan dilanjutkan dengan aquades untuk menghilangkan soda kaustik yang masih menempel. Disamping itu juga dilakukan pencelupan kedalam larutan *sulfuride acid* 15 % selama 5 menit. Untuk pembersihan dari korosi pada permukaan logam akibat udara (*atmospheric corrosion*).

Pada pembilasan terakhir dilakukan dengan menghilangkan sisa-sisa asam, menggunakan aquades untuk melarutkan asam yang tersisa. Setelah itu benda uji dilap dengan tissue untuk menghilangkan air yang terdapat pada benda uji, kemudian benda uji tersebut dikeringkan dengan menggunakan pengering rambut (*hair dryer*) sampai air yang ada pada benda uji hilang. Setelah benda uji tersebut dikeringkan, kemudian dilakukan penimbangan massa benda uji. Penimbangan ini dilakukan untuk mengetahui pengurangan massa yang terjadi akibat korosi. Setiap variasi pengujian memakan waktu selama satu minggu dengan penimbangan setiap dua minggu atau 336 jam. Retakan yang terjadi pada benda uji akhirnya dilakukan pengamatan dengan mikroskop optik.

## 2. Hasil dan Pembahasan

### 3.1 Analisa tegangan pada C-ring

Konfigurasi pembebanan yang digunakan sebagai pendekatan pada pengujian peretakan korosi tegangan dengan benda uji C-ring dapat ditunjukkan dalam gambar 3.1. Untuk menjaga kesetimbangan, maka gaya vertikal  $P$  dan momen lentur  $M$  dapat dinyatakan sebagai:

$$M = P(r_o + r_i) \cos\theta/2 \quad (1)$$

Tegangan lentur sebagai fungsi  $\theta$  dapat ditunjukkan dengan:

$$\sigma_\theta = \frac{PR(r-r_a)}{Ar(R-r_a)} \cos\theta \quad (2)$$

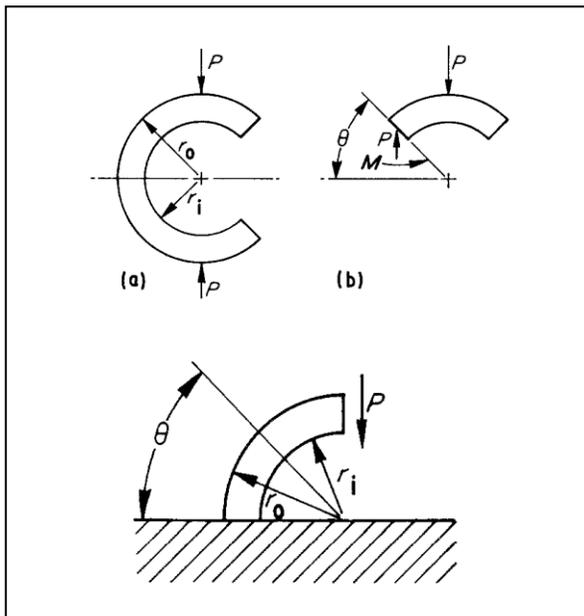
dimana  $r_a = (r_o + r_i)/2$

$$R = \frac{(r_o + r_i)}{\ln(r_o/r_i)}$$

$$A = (r_o - r_i)w$$

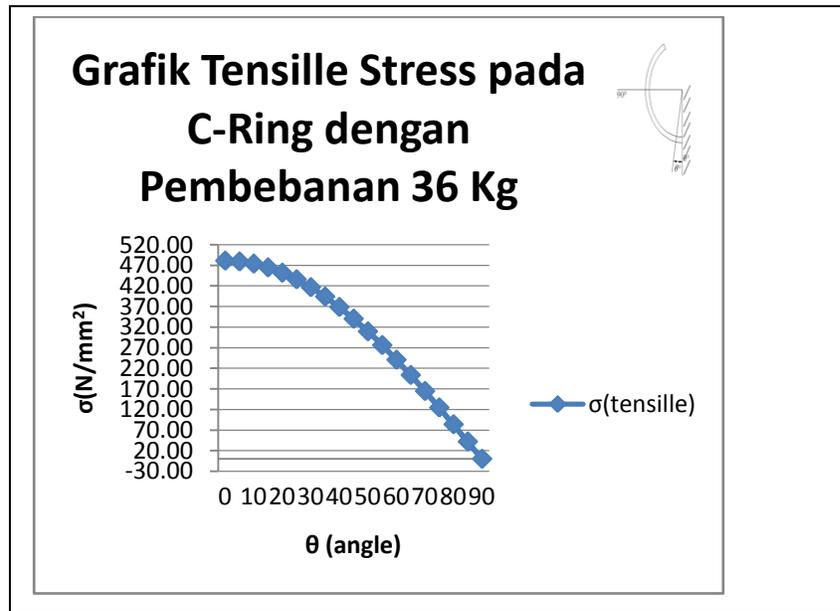
$$\sigma_\tau = (P/A)G(r)\cos\theta \quad (3)$$

Didalam persamaan diatas bahwa  $P$  adalah beban patah dimana untuk kasus pembebanan tekan maka tandanya menjadi negatif.  $R$  adalah momen inertiya dan  $w$  adalah tebal C-ring. Bentuk  $(P/A)$  didalam persamaan [3] menyajikan tegangan tekan yang timbul dari pembebanan vertikal ( $= P \cos \theta$ ), sementara bentuk kedua disebabkan oleh momen lengkung.

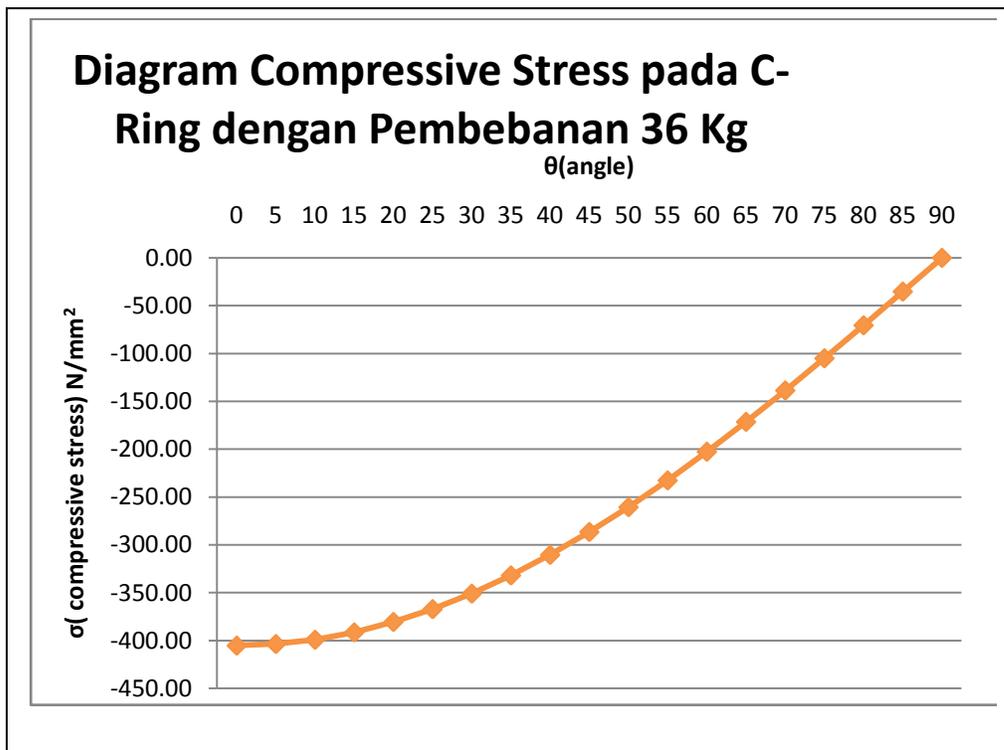


**Gambar 3.1** Konfigurasi pembebanan yang digunakan sebagai pendekatan pada spesimen C-ring

Dengan menggunakan persamaan [2] dan [3] maka didapat tegangan tarik dan tekan sebagai fungsi sudut  $\theta$ . Hasil perhitungan dengan beban 36 kg disajikan dalam gambar 3.2.



Gambar 3.2 Tegangan tarik pada beban 36kg



Gambar 3.3 Tegangan tekan pada beban 36 kg.

Salah satu penyebab terjadinya peretakan korosi tegangan didalam C-ring adalah tegangan tarik bekerja didalam media korosif. Disamping itu beban yang diberikan pada spesimen

## Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

mengakibatkan adanya tegangan tekan dan tegangan geser yang bisa mempengaruhi kecepatan retakan. Namun karena diasumsikan besar tegangan geser adalah  $0 \text{ N/mm}^2$ , maka yang ada hanya tegangan normal. Sebagai contoh tegangan tarik yang bekerja pada spesimen *Stainless Steel AISI 420* tegangan tarik sebesar  $481.24 \text{ N/mm}^2$  dan tegangan tekan sebesar  $-405.26 \text{ N/mm}^2$ , maka kemungkinan terjadinya retakan pada bagian tengah C-ring (mid plane,  $\theta = 0$ ).

Dari data komposisi spesimen diketahui bahwa nilai kekuatan luluh (*yield strength*) sebesar  $520 \text{ N/mm}^2$ , sehingga tegangan bekerja masih dalam daerah elastis. Berdasarkan pengamatan dengan mikroskop optik benda uji yang direndam didalam larutan NaCl dalam jangka waktu 14 hari, menunjukkan bahwa peretakan korosi yang terjadi pada bagian tengah ring, hal ini sesuai dengan prediksi semula bahwa tegangan terbesar pada daerah ini (Gambar 3.4). Disamping itu perhitungan statistik Weibull [10] menunjukkan bahwa kegagalan material akibat tegangan ini bernilai 1 yang memiliki implikasi korosi peretakan tegangan lebih dominan disebabkan oleh media korosif.



**Gambar 3.4.** Crack pada C-ring dengan pembebanan 36 kg dan direndam didalam larutan NaCl selama 14 hari.

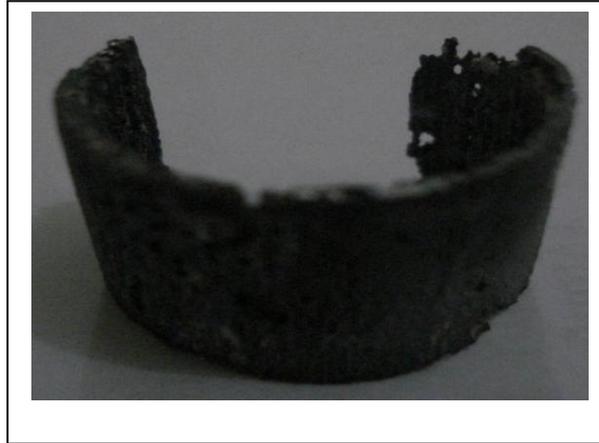
Pengamatan yang sama juga terjadi pada benda uji yang direndam pada larutan HCl selama 14 hari.

Dengan cara yang sama analisa tegangan pada beban 52 kg diperoleh nilai tegangan tarik dan tegangan tekan terbesar berada pada bagian *midplane* ( $0^\circ$ ) yaitu sebesar  $695.13 \text{ N/mm}^2$  dan  $-585.37 \text{ N/mm}^2$ . Tegangan tarik dan tegangan tekan terkecil berada pada bagian yang terkena pembebanan langsung ( $90^\circ$ ) sebesar  $0 \text{ N/mm}^2$  dan  $0 \text{ N/mm}^2$ . Dari hasil pengujian terlihat bahwa tegangan yang timbul pada spesimen akibat beban 52 kg lebih besar dibanding kekuatan luluhnya ( $520 \text{ N/mm}^2$ ). Pada pengujian dengan pembebanan 52 kg, spesimen mengalami patah dalam kurun waktu 14 hari dengan media HCl. Pada pengamatan mikroskop terlihat bahwa pengujian korosi dengan beban 52 kg dan HCl sebagai media pengkorosinya selama 14 hari menghasilkan *pitting corrosion* (korosi sumur) permukaan yang lebih banyak dan jaraknya pun

# Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

semakin melebar, retak yang terjadi pada permukaan pun terlihat lebih jelas, jarak antara retakan pun semakin dekat (Gambar 3.5).



**Gambar 3.5** Pitting korosi Terjadi pada C – ring dengan media HCl selama 14 hari dan dengan pembebanan sebesar 52 kg.

Pengamatan yang sama pada benda uji yang direndam selama 14 hari didalam larutan NaCl memberikan hasil pitting korosi yang sama, dimana permukaan yang lebih banyak dan jaraknya pun semakin melebar, retak yang terjadi pada permukaan pun terlihat lebih jelas, jarak antara retakan pun semakin dekat.

### 3. Kesimpulan dan Saran

Dari penelitian tentang analisa tegangan pada spesimen C-ring *Stainless Steel AISI 420* dengan pembebanan 36 kg dan 52 kg pada media NaCl dan HCl, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Tegangan tarik dan tegangan tekan terbesar berada pada bagian midplane ( $0^\circ$ ) yaitu sebesar  $481.24 \text{ N/mm}^2$  dan  $-405.26 \text{ N/mm}^2$  untuk pembebanan 36 kg, sedangkan tegangan tarik dan tegangan tekan terkecil berada pada bagian yang terkena pembebanan langsung ( $90^\circ$ ) yaitu sebesar  $0 \text{ N/mm}^2$  dan  $0 \text{ N/mm}^2$ .
2. Tegangan tarik dan tegangan tekan terbesar berada pada bagian midplane ( $0^\circ$ ) yaitu sebesar  $695.13 \text{ N/mm}^2$  dan  $-585.37 \text{ N/mm}^2$  untuk pembebanan 52 kg, sedangkan tegangan tarik dan tegangan tekan terkecil berada pada bagian yang terkena pembebanan langsung ( $90^\circ$ ) yaitu sebesar  $0 \text{ N/mm}^2$  dan  $0 \text{ N/mm}^2$ .
3. Tegangan yang diberikan pada spesimen dengan pembebanan 52 kg lebih besar dibanding kekuatan luluhnya, sedangkan untuk pembebanan 36 kg tegangan yang diberikan masih di bawah kekuatan luluhnya.

# Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

*Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009*

4. Didapatkan kemungkinan ketahanan yang bernilai mendekati 1 sehingga kemungkinan kegagalan bernilai mendekati 0 tanpa adanya pengaruh dari media pengkorosi.
5. HCL merupakan media pengkorosi yang lebih cepat dibanding dengan NaCL karena HCl memiliki tingkat derajat keasaman yang lebih tinggi dibanding NaCl.

## Ucapan Terimakasih

Penulis menyampaikan banyak terimakasih kepada sdr Margono, Laboratorium Metalurgi Jurusan Teknik Mesin atas kerjasamanya dalam menyelesaikan penelitian ini.

## Daftar Pustaka

- [1] Kenneth R. Trethwey, John Chamberlain. (1991), *Korosi untuk Mahasiswa dan Rekayasawan*. Terjemahan Alex Tri Kantjono Widodo, PT. Gramedia Pustaka, Jakarta 16.
- [2] Collins, J.A. and Monack, M.L. (1973). *Stress corrosion cracking of AISI 321 stainless steel in acidic chloride solution*. *Materials Performance*, **12**,11-.
- [3] Gnanamoorthy, J.B. (1990). *Stress corrosion cracking of unsensitized stainless steels in ambient-temperature coastal atmosphere*. *Materials. Performance*, **29**, 63-65.
- [4] Kain, R.M. (1990). *Marine atmospheric stress corrosion cracking of austenitic stainless steel*. *Materials Performance*. **29**, 60-62.
- [5] Oldfield J W and Todd B (1990). *Ambient temperature stress corrosion cracking of austenitic stainless steel in swimming pools*. *Materials Performance*. **29**, 57-
- [6] Huang Shuju. (1988). *Corrosion and protection of metals* (China: Xi'an Jiaotong University Press) (in Chinese).
- [7] Newman R C and Procter R P M. (1990). *Silver Jubilee Review: Stress corrosion cracking 1965-1990*. *British Corrosion Journal*. **25**, 259-269.
- [8] Chen Xujun and Wu Shanhe. (1985) *Proc. 6th Europ. symp. inh.* (Ferrara: Elsevier Science Publishers) pp 677-689.
- [9] Cao Chu-Nan, Yan Qiangong, Lu Min and Lin Haichao (1991). *Proc. 7th APCCC* (Beijing: International Academic Publishers) pp 882-887.
- [10] Ashby F Michael, David RH Jones, 1998, *Engineering Material 1 second edition*, Biddles Ltd, Guilford and Kingd's, Britain.
- [11] ASM international, (1987). *Metal handbook ninth edition Vol 13 corrosion*, metal park, Ohio.