

ANALISIS STRESS CORROSION CRACKING AISI 430 DENGAN VARIASI PEMBEBANAN PADA MEDIA KOROSI HCL 0,8 M

¹⁾Bayuseno*, ²⁾Toi'in

¹⁾Staff Pengajar Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²⁾Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

*E-mail: abayuseno@yahoo.com

ABSTRAK

Stress corrosion cracking [SCC] adalah istilah yang diberikan untuk peretakan intergranular atau transgranular pada logam akibat kegiatan gabungan antara tegangan dan lingkungan khusus. Bentuk korosi ini lazim sekali dijumpai di lingkungan industri seperti : industri perkapalan, perminyakan, dan industri – industri konstruksi logam. dalam tugas akhir ini dimaksudkan untuk memahami fenomena Stress Corrosion Cracking secara teoritis dalam material dan mengkaji pengaruh variasi pembebanan terhadap Stress Corrosion Cracking Stainless Steel AISI 430 sehingga dapat mengetahui pengaruh media korosi terhadap pertambahan panjang, lamanya waktu patah dan jenis retak yang terjadi pada benda uji. Pada tugas akhir ini pengujian yang dilakukan adalah pengujian dengan alat uji Stress Corrosion Cracking, prinsip kerja alat uji ini adalah untuk menciptakan suatu kondisi spesimen agar mendapatkan tegangan pada lingkungan yang korosif. Tegangan yang diberikan berupa tegangan tarik yang berasal dari pembebanan statik pada sistem pengungkit. Kondisi korosif dapat dihasilkan dari bak yang diisi dengan larutan sesuai dengan rencana pengujian yang dilakukan. Analisa metalografi dimaksudkan untuk mengamati struktur mikro spesimen uji dan bentuk retak yang terjadi pada spesimen uji setelah dilakukan proses pengujian

Kata Kunci: *Stress Corrosion Cracking, Stainless Steel AISI 430, Metalografi*

PENDAHULUAN

Logam Ferro (besi dan baja) merupakan bagian yang sangat penting dalam dunia industri, karena mulai dari bahan baku hingga tahap produksi dalam dunia industri selalu menggunakannya. Logam merupakan penghantar panas dan listrik yang sangat baik, logam memiliki sifat ulet, logam memiliki ketahanan aus yang baik. Namun logam juga mempunyai banyak kelemahan jika di bandingkan dengan unsur lain, karena logam mudah terkorosi jika berinteraksi dengan lingkungan, Oleh karena itu korosi sangat merugikan misalnya:

- Dari segi biaya, korosi sangat mahal
- Korosi sangat memboroskan sumber daya alam
- Korosi sangat tidak nyaman bagi manusia dan terkadang sangat membahayakan
- Turunnya mutu produk akibat terkontaminasi korosi

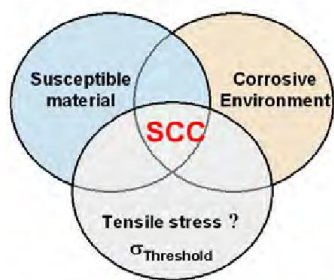
Bentuk korosi sendiri ada bermacam macam antara lain: Korosi logam tak sejenis, Korosi selektif, Korosi celah, korosi sumuran dan korosi mikrobiologis, korosi retak tegang dan lain lain.

Peretakan korosi tegangan (*stress corrosion cracking*) merupakan kasus yang diberikan untuk peretakan intergranular atau transgranular pada logam akibat gabungan antara tegangan tarik dan lingkungan khusus yang bersifat korosif.

SCC sangat berbahaya karena SCC tidak dapat diduga datangnya dan dapat menyebabkan pengurangan dimensi dan kekuatan, meskipun penelitian intensif telah dilakukan tetapi kita baru sampai pada pemahaman tentang proses proses yang terlibat. Sementara usaha usaha pengendaliannya sampai sekarang masih sering gagal. Sehingga sering kali bahan yang di pilih karena ketahanannya terhadap korosi ternyata gagal terhadap tegangan yang jauh di bawah tegangan perpatahan normal/tegangan maksimum.

Stress Corrosion Cracking

Stress Corrosion Cracking atau Korosi Retak Tegang merupakan merupakan intergranular pada logam akibat kegiatan gabungan antara tegangan tarik static dengan lingkungan khusus. Bentuk korosi ini sangat lazim dijumpai lingkungan industri. SCC terjadi karena adanya tiga kondisi yang saling berkaitan, yaitu adanya tegangan tarik, lingkungan yang korosif, dan temperatur yang tinggi (Gambar 1).



Gambar 1. Keterkaitan Tiga Kondisi yang Menyebabkan SCC

Salah satu ciri korosi dari jenis ini adalah bahwa kasus ini tidak dapat diduga datangnya. Sering kali karena ketahanannya terhadap korosi suatu bahan dipilih, ternyata gagal pada tegangan dibawah tegangan maksimumnya. Sedangkan Ciri-ciri yang lain adalah sebagai berikut:

1. Terdapat tegangan tarik. Retak korosi tegangan terjadi karena adanya hasil kerja sama antara tegangan dengan korosi, sehingga kalau salah satu unsur-unsur tersebut tidak ada maka tidak akan terjadi *Stress Corrosion Cracking*. Tegangan tersebut mungkin terjadi dari tegangan luar yang bekerja pada komponen ketika operasional ataupun juga karena adanya tegangan sisa yang terjadi ketika pembuatan komponen tersebut/fabrikasi.
2. Logam-logam paduan ternyata lebih rentan terhadap SCC daripada logam-logam murni.
3. Peretakan pada logam tertentu yang dapat teramati hanya yang disebabkan oleh sedikit saja unsur kimia di lingkungannya dan unsur-unsur itu tidak perlu dalam konsentrasi besar.
4. Bila tegangan tidak ada paduan biasanya lambat terhadap unsur yang serupa dengan lingkungan yang semestinya menyebabkan peretakan.
5. Bila bahan bersifat mulur, retak korosi tegangan mempunyai penampakan seperti perpatahan rapuh.
6. Biasanya dapat ditentukan tegangan ambang batas, dibawah tegangan SCC tidak dapat terjadi.
7. Terdapat rentang potensial tertentu dimana SCC bisa terjadi atau tidak mungkin terjadi.

SCC adalah proses kegagalan yang tertunda, karena retak yang terjadi dapat menjalar dengan lambat sampai tegangan yang bekerja pada komponen logam akan naik dan mencapai tegangan patahnya. SCC sendiri terdiri dari tiga tahap, yaitu:

1. Muncul retak dan penjalaran tahap 1.
2. Tahap 2 atau penyebaran peretakan secara merata.
3. Tahap 3 penyebaran retakan merata atau kegagalan terakhir.

Perbedaan antara ketiga tahap tersebut sulit dibedakan, karena terjadi secara berkelanjutan dan terjadi secara bebas/acak. Untuk mengetahuinya dilakukan percobaan. Percobaan yang dilakukan dalam

penulisan ini adalah dengan menggunakan metode C-Ring dengan beban bervariasi.

1. Muncul retak dan penjalaran tahap 1.

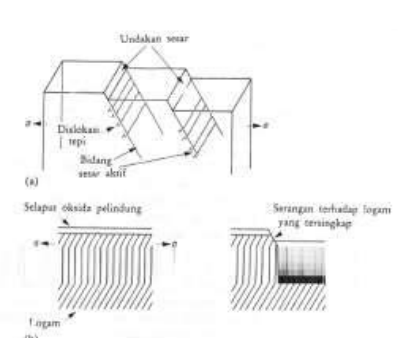
Dalam tahap pertama, terjadi serangan terhadap bagian – bagian sangat lokal pada permukaan logam yang bersifat anoda yang akibatnya timbul berupa ceruk atau lubang.

Kegiatan tegangan tarik terhadap bahan dapat menimbulkan berbagai efek, kemungkinan yang paling mendasar yang terjadi adalah bahwa tegangan tarik akan menyerang kisi kristal yang semestinya dalam kesetimbangan dan berakibat bangkitnya energi termodinamika ikatan–ikatan atom. Kalau efek ini terlokasi pada permukaan, anoda–anoda akan terbentuk walaupun bahan bersangkutan menerima tegangan yang masih diawah batas elastisnya.

Begitu tegangan melebihi kekuatan luluh bahan, bahan mengalami deformasi plastis yaitu ikatan–ikatan pada struktur kristalnya putus sehingga bentuk bahan berubah secara permanen. Mekanisme untuk ini dapat dianggap sebagai mekanisme pembentukan dan gerak cacat, biasanya dislokasi telah mencapai permukaan logam atau batas butir. Penumpukan dislokasi pada batas - batas butir, menyebabkan polarisasi anodik pada daerah – daerah ini, karena meningkatnya ketidak - teraturan dalam struktur kristal. Ini tidak berpengaruh terhadap fase pemicuan jika terjadi disebelah dalam bahan, tetapi paling berperan pada tahapan penjalaran. Pada permukaan yang semestinya halus, kini terbentuk cacat lokal yang disebut “undakan sesar” (*slip step*) dan merupakan bagian pada bahan yang paling rentan terhadap korosi.

Paduan – paduan yang bergantung pada selaput – selaput tipis oksida atau bahan lain untuk perlindungan terhadap korosi khususnya rentan karena undakan sesar, meski dalam ukuran mikroskopik, menyingkapkan permukaan logam sehingga bagian itu sangat anodik dibandingkan permukaan sekelilingnya.

Paduan yang bergantung pada selaput tipis oksida atau bahan lain untuk perlindungan terhadap korosi khususnya rentan karena undakan sesar, meski dalam mikroskopik, menyingkapkan permukaan logam sehingga bagian itu sangat anodik dibandingkan permukaan sekelilingnya.



Gambar 2. Peran Undakan Sesar (*slip step*) dalam peretakan peka lingkungan.

- (a) Pembentukan undakan sesar pada permukaan logam oleh pergerakan dislokasi disepanjang bidang sesar aktif akibat tegangan tarik.
- (b) Undakan sesar pada permukaan logam yang sedang pasif menyingkapkan daerah-daerah aktif yang dapat memicu korosi sumuran.

Jika logam mampu pasif kembali dengan cepat, maka bahayanya berkurang, tetapi jika pemasifan membutuhkan waktu cukup lama untuk memungkinkan korosi pada bagian yang tersingkap sehingga ceruk terbentuk disitu, maka persyaratan untuk pemicuan SCC telah terpenuhi.

Bahkan pada logam-logam yang tidak mengalami sifat pemasifan, pembentukan undakan-undakan sesar pada permukaan mendatangkan masalah korosi karena ketidaksinambungan struktur kristal menimbulkan anoda-anoda local. Pembentukan ceruk itu penting sekali karena produk korosi yang membentuk semacam penutup berpori menciptakan sel-sel yang sangat kecil. Unsur-unsur yang terkonsentrasi dalam sel-sel itu membentuk lingkungan lokal yang bahkan lebih agresif. Proses difusi yang berlangsung menimbulkan gradien konsentrasi karena perubahan energy yang terjadi dari proses penguraian pada bagian logam yang tersingkap secara aktif.

Lingkungan lokal dalam sumuran serta retakan yang sangat asam, dengan pH hanya 2, merupakan suatu factor yang tidak saja mempercepat proses penguraian, tetapi jika mendukung bukti keterlibatan hidrogen dalam mekanisme SCC. Ketika pH jatuh, kecenderungan termodinamika untuk terbentuknya hidrogen semakin besar bila potensial tetap. Jika potensial tidak tetap, terjadi perbedaan konsentrasi oksigen menyebabkan suatu polarisasi anodik, yang selanjutnya meningkatkan kecenderungan pelepasan hidrogen.

Pembentukan ceruk atau sumuran menjadi pelopor peretakan korosi tegangan dan merupakan fase pemicuan (*initiation phase*). Pada bentuk korosi ini, aspek inilah yang paling tidak diramalkan, yang mungkin terjadi dalam beberapa hari, tetapi juga bisa terjadi dalam beberapa tahun.

2. Penyebaran retakan secara merata atau tahap 2. Mekanisme panjalaran retak dalam SCC ada tiga yaitu:

A. Mekanisme melalui lintasan aktif sudah ada sejak semula

Dalam mekanisme ini penjalaran cenderung terjadi disepanjang batas butir yang aktif. Mekanisme ini pada dasarnya sama seperti pada korosi intergranular. Batas-batas butir mungkin terpolarisasi anodik akibat berbagai alasan metalurgi, seperti segregasi atau denudasi unsur-unsur pembentuk paduan. Besar sekali penumpukan dislokasi dapat menghasilkan efek yang sama, walaupun kemungkinan

itu berkurang bila SCC terjadi pada tingkat tegangan rendah, karena peran tegangan tarik disitu mungkin sekedar membuat retakan tetap terbuka sehingga elektrolit dapat masuk kebagian ujungnya mekanisme ini dapat di anggap dominan bila SCC diatur oleh aspek - aspek elektro kimia atau metalurgi, alih - alih oleh tegangan.

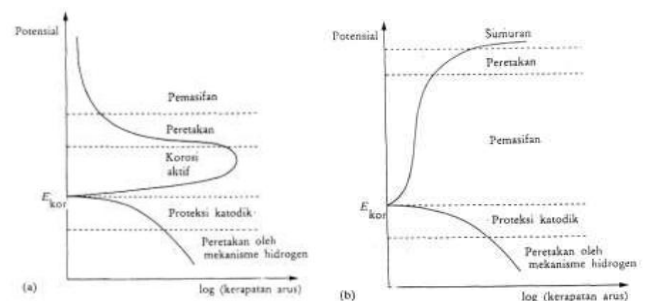
B. Mekanisme melalui lintasan aktif akibat regangan

Berlawanan dengan kasus peretakan yang didominasi oleh pengaruh korosi, dengan regangan sebagai unsur pengendali jika penjalaran retak akibat penguraian terjadi, maka laju pertumbuhan diujung retakan tempat penguraian anodik berlangsung harus paling besar dibanding bagian sisi retakan yang telah terpasifkan berhubungan dengan lingkungan lebih lama. Mekanisme ini dengan demikian erat sekali kaitannya dengan perilaku aktif-pasif yang pada gilirannya mempunyai hubungan kuat dengan sifat elektrokimia.

Laju penjalaran retak ditentukan oleh tiga kriteria:

1. Laju pecahnya selaput, ini ditentukan oleh laju regangan yang dilami atau dalam kasus pembebanan static oleh laju *creep*.
2. Laju penggantian atau pembuangan larutan dinding diujung retakan, proses yang dikendalikan oleh difusi ini juga ditentukan oleh kemudahan masuknya unsur-unsur agresif ke bagian ujung retakan.
3. Laju pemasifan, ini merupakan persyaratan yang vital, karena jika pemasifan kembali sangat lambat, penguraian logam secara berlebihan dapat terjadi baik di ujung maupun di sisi-sisi retakan.

Bila demikian, retak akan menjadi cukup lebar dan ujungnya tumpul dan akibatnya pertumbuhan retak tertahan. Jadi pada paduan yang pemasifanya buruk, korosi yang diharapkan terjadi adalah korosi biasa, bukan peretakan. Kebalikanya, pemasifan yang sangat cepat akan menyebabkan laju penjalaran yang lambat, dan karena itu laju pesifan kembali yang sedang ialah yang paling besar daya rusaknya.



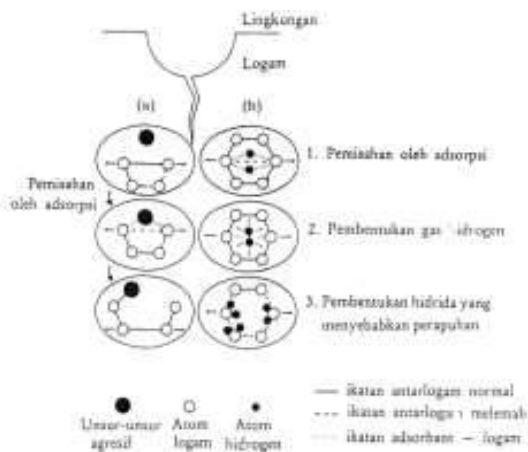
Gambar 3. Hubungan antara kerentanan terhadap peretakan dan kurva polarisasi potensiodinamik. a) logam dengan laju pemasifan rendah. b) logam dengan laju pemasifan tinggi.

C. Mekanisme yang menyangkut absorpsi

Mekanisme yang menyangkut absorpsi mengandung arti bahwa unsur-unsur aktif dalam elektrolit menurunkan integritas mekanik bagian ujung retakan, jadi memudahkan putusnya ikatan-ikatan pada tingkat energi jauh lebih rendah dari semestinya. Dalam salah satu mekanisme jenis ini, ion-ion agresif yang spesifik untuk setiap kasus diperkirakan mengurangi kekuatan ikatan antara atom-atom logam diujung retakan akibat proses absorpsi dan ini menyebabkan terbentuknya ikatan-ikatan antara logam dan unsur-unsur agresif.

Energi yang digunakan mengikat unsur agresif dengan atom-atom logam mengurangi energi ikatan logam dengan logam sehingga pemutusan secara mekanik mudah terjadi. Kemungkinan yang dapat terjadi adalah bahwa ion spesifik yang dalam keadaan normal tidak relatif terhadap logam menjadi lebih reaktif karena meningkatnya energi termodinamik diantara ikatan logam-logam akibat tegangan tarik.

Mekanisme yang mungkin terjadi itu digambarkan secara skematik dalam Gambar 4 berikut:



Gambar 4. mekanisme penjaralan retak.

Unsur-unsur agresif diadsorpsi pada ujung retakan dan menyebabkan berkurangnya kekuatan ikatan antar logam.

- (a) Pemisahan logam oleh diadsorpsi hidrogen di daerah yang melebar secara lokal tepat di depan ujung retakan.
- (b) Gas hidrogen terbentuk di daerah yang melebar lokal atau disepanjang bidang sesar. Tekanan gas itu membantu putusnya ikatan-ikatan antar logam.
- (c) Pembentukan hibrida logam menyebabkan berkurangnya kekuatan antar logam dan perapuhan di daerah tepat di depan ujung retakan.

Mekanisme mengenai adsorpsi yang kedua didasarkan pada pembentukan atom-atom hidrogen akibat reduksi ion-ion hidrogen dalam retakan. Atom-atom hidrogen yang terbentuk di adsorpsi oleh logam, dan ini diperkirakan menyebabkan pelemahan atau perapuhan ikatan logam-logam yang terletak tepat dibawah permukaan pada ujung retakan.

Kemungkinan ketiga adalah gas hidrogen yang terbentuk sedikit sekali, kecenderungan termodinamik

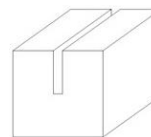
untuk terjadinya hal ini besar sekali, Hal ini telah dibuktikan bahwa atom-atom hidrogen dapat meresap kedalam baja, tetapi segera membentuk gas hidrogen dalam rongga-rongga. Dalam bentuk molekul, hidrogen tidak dapat terdefusi melalui kisi-kisi logam sehingga tekanan didalam rongga-rongga meningkat. Apabila waktu sudah cukup, tekanan yang semakin tinggi dapat membuat seluruh bahan melepuh dan pecah-pecah.

Setiap peningkatan tekanan disebabkan oleh gas hidrogen dibagian tertentu yang terus berkembang akan memperbesar tegangan tarik yang sudah ada, karena itu membantu penjaralan retak. Dalam pola pemikiran sekarang perapuhan oleh mekanisme absorpsi dianggap lebih mungkin terjadi dibanding perapuhan oleh karena hidrostatik akibat pembentukan gas hidrogen.

PROSEDUR PENGUJIAN

Pembuatan Beban pada alat uji

Pembuatan beban yang digunakan adalah dari campuran pasir dan semen, beban di buat berbentuk balok. Fungsi beban pada pengujian ini adalah untuk memberikan gayapadapengungkit yang dilanjutkan pada spesimen uji. Berat beban pada alat uji ini adalah 30 kg, 40 kg, 50 kg. namun pada pembuatan beban dengan menggunakan berat 10 kg sebanyak 3 buah dan memanfaatkan beban yang sudah ada senilai 40 kg. Beban yang dibuat bisa dilihat seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Beban alat uji SCC

Berat beban uji yang dipilih adalah :

- 1. Beban uji 1 : 8.993 kg
- 2. Beban uji 2 : 10,02 kg
- 3. Beban uji 3 : 9.809 kg
- 4. Pengait beban uji : 1.2 kg

Perlindungan korosi pada alat uji

Pemberian perlindungan pada pengait spesimen uji bertujuan supaya pada waktu pengujian pengait spesimen uji tersebut tidak ikut terkena korosi. Perlindungan yang dilakukan adalah dengan memberikan lem kaca pada pengait spesimen uji tersebut pada saat benda uji sudah diletakan.

Media korosi

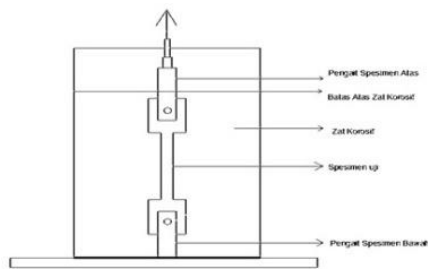
Media korosi yang digunakan pada pengujian Stress Corrosion Cracking adalah HCL 0,8 M dan

dibutuhkan sebanyak 13 Liter agar bak penampung Terisi dengan penuh pada batas atas pengait spesimen.

Pengujian

Pengujian *Stress Corrosion Cracking* pada material *Stainless Steel Ferritik* AISI 430 bertujuan untuk menciptakan perlakuan khusus pada spesimen uji untuk menerima tegangan tertentu pada lingkungan yang bersifat korosi.

Langkah-langkah pengujian yang dilakukan secara umum adalah sebagai berikut:



Gambar 6. Skema pengujian SCC

1. Memasang spesimen uji pada pengait dan melakukan setting dengan panskrup untuk selanjutnya melakukan pembebanan.
2. Melapisi pengait bagian atas maupun bawah dengan lem supaya tidak rusak karena zat korosif.
3. Menuangkan media korosi pada bak penampung sampai pada batas atas, agar spesimen uji tercelup semua.
4. Memasang beban yang telah ditentukan yaitu 30 kg, 40 kg, dan 50 kg untuk menghasilkan nilai tegangan. Dalam tabel 2 dijelaskan konversi beban ke tegangan untuk berbagai nilai beban.
5. Mengukur pertambahan panjang spesimen uji dengan jangka sorong pada waktu yang telah ditentukan, yaitu 10 jam sekali. Teknik pengukurannya yaitu dengan memberikan garis pada bagian terluar *gauge length*, garis tersebut digunakan sebagai titik acuan pengukuran
6. Mengulangi langkah ke empat sebanyak 5 kali untuk setiap kali pengujian

Pengujian Komposisi Kimia Pada Benda Uji

Pengujian komposisi dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik Universitas Gajah Mada Yogyakarta. Data hasil pengujian tersebut akan kami gunakan untuk menganalisis beberapa faktor terjadinya fenomena yang terdapat di dalam proses terjadinya erosi korosi. Dari pengujian komposisi maka dapat diketahui komposisi kimia yang terkandung didalam baja karbon dan *stainless steel*.

Metalografi

Dengan metalografi maka dapat diketahui bentuk struktur mikro dan dapat dilakukan pengamatan jenis retakan yang terjadi pada spesimen uji. Metalografi dilakukan pada pembesaran 100 X, 400 X, 500 X.

Pengujian Kekerasan

Material uji yang telah di mikrogarafi selanjutnya digunakan untuk pengujian kekerasan, pada saat diuji material uji di polis kembali setelah itu di etsa. Pengujian kekerasan menggunakan metode *mikro hardness vickers* (Gambar 7), pengujian dilakukan di Laboratorium Universitas Gajah Mada.



Gambar 7. Micro Hardness Vickers

DATA DAN ANALISA HASIL PENGUJIAN

Karakteristik Material Uji

Stainless Steel Ferritik AISI 430 merupakan bahan yang digunakan sebagai bahan maerial uji di dalam penelitian *Stress Corrosion Cracking*. Bahan ini sering digunakan dalam lingkungan industrimaupun kontruksi, karena di dalam bahan ini terkandung material yang paling tahan terhadap serangan korosi. Selain di lingkungan industri maupun kontruksi, bahan ini juga digunakan pada elemen komponen otomotif, indusri pertanian, komponen motor bakar torak dan pada aneka peralatan yang berhubungan dengan penyebab korosi.

Komposisi kimia dan sifat-sifat mekanik dari material *Stainless Steel AISI 430* adalah sebagai berikut:

Komposisi Kimia

Komposisi kimia dari materal uji adalah sebagai berikut.

Tabel 1. Komposisi kimia materal uji

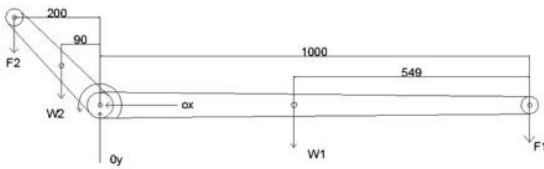
Unsur	%
C	0.0251
Si	0.3706

S	0.0045
P	0.0406
Mn	0.4605
Ni	0.1288
Cr	16.7507
Mo	0.0134
Cu	0.2038
W	0.0314
Ti	0.0042
Sn	0.0133
Al	0.0149
Ca	0.0011
Zn	0.0309
Fe	81.91

Konversi nilai beban ke tegangan tiap specimen alat uji SCC

Perhitungan konversi nilai beban ke nilai tegangan yang diterima oleh setiap specimen, adalah sebagai berikut :

- Diagram benda bebas:



Gambar 8. DBB Sistem Pengungkit

- Data diketahui :
 1. Berat batang 1 (W_1) : 6 kg
 2. Berat batang 2 (W_2) : 2,5 kg
 3. Gaya akibat beban (F_1)
 4. Gaya yang di terima oleh specimen (F_2)

- Perhitungan gaya F_2 :

➤ Diasumsikan $F_1 = 10$ kg

$$\sum Mo = 0$$

$$(F_2 \times 200) + (W_2 \times 90) - (W_1 \times 549) - (F_1 \times 1000) = 0$$

$$F_2 = \frac{6 \times 9,81 \times 549 + 10 \times 9,81 \times 1000 - (2,5 \times 9,81 \times 90)}{200} = 612,19 \text{ N}$$

➤ Diasumsikan $F_1 = 20$ kg

$$\sum Mo = 0$$

$$(F_2 \times 200) + (W_2 \times 90) - (W_1 \times 549) - (F_1 \times 1000) = 0$$

$$F_2 = \frac{6 \times 9,81 \times 451 + 20 \times 9,81 \times 1000 - (2,5 \times 9,81 \times 90)}{200} = 1102,69 \text{ N}$$

➤ Diasumsikan $F_1 = 30$ kg

$$\sum Mo = 0$$

$$(F_2 \times 200) + (W_2 \times 90) - (W_1 \times 549) - (F_1 \times 1000) = 0$$

$$F_2 = \frac{6 \times 9,81 \times 451 + 30 \times 9,81 \times 1000 - (2,5 \times 9,81 \times 90)}{200} = 1593,19 \text{ N}$$

➤ Diasumsikan $F_1 = 40$ kg

$$\sum Mo = 0$$

$$(F_2 \times 200) + (W_2 \times 90) - (W_1 \times 549) - (F_1 \times 1000) = 0$$

$$F_2 = \frac{6 \times 9,81 \times 451 + 40 \times 9,81 \times 1000 - (2,5 \times 9,81 \times 90)}{200} = 2083,69 \text{ N}$$

➤ Diasumsikan $F_1 = 50$ kg

$$\sum Mo = 0$$

$$(F_2 \times 200) + (W_2 \times 90) - (W_1 \times 549) - (F_1 \times 1000) = 0$$

$$F_2 = \frac{6 \times 9,81 \times 451 + 50 \times 9,81 \times 1000 - (2,5 \times 9,81 \times 90)}{200} = 2574,19 \text{ N}$$

➤ Diasumsikan $F_1 = 60$ kg

$$\sum Mo = 0$$

$$(F_2 \times 200) + (W_2 \times 90) - (W_1 \times 549) - (F_1 \times 1000) = 0$$

$$F_2 = \frac{6 \times 9,81 \times 451 + 60 \times 9,81 \times 1000 - (2,5 \times 9,81 \times 90)}{200} = 3064,69 \text{ N}$$

➤ Diasumsikan $F_1 = 70$ kg

$$\sum Mo = 0$$

$$(F_2 \times 200) + (W_2 \times 90) - (W_1 \times 549) - (F_1 \times 1000) = 0$$

$$F_2 = \frac{6 \times 9,81 \times 451 + 70 \times 9,81 \times 1000 - (2,5 \times 9,81 \times 90)}{200} = 3555,19 \text{ N}$$

➤ Diasumsikan $F_1 = 80$ kg

$$\sum Mo = 0$$

$$(F_2 \times 200) + (W_2 \times 90) - (W_1 \times 549) - (F_1 \times 1000) = 0$$

$$F_2 = \frac{6 \times 9,81 \times 451 + 80 \times 9,81 \times 1000 - (2,5 \times 9,81 \times 90)}{200} = 4045,69 \text{ N}$$

➤ Diasumsikan $F_1 = 90$ kg

$$\sum Mo = 0$$

$$(F_2 \times 200) + (W_2 \times 90) - (W_1 \times 549) - (F_1 \times 1000) = 0$$

$$F_2 = \frac{6 \times 9,81 \times 451 + 90 \times 9,81 \times 1000 - (2,5 \times 9,81 \times 90)}{200} = 4536,19 \text{ N}$$

➤ Diasumsikan $F_1 = 100$ kg

$$\sum Mo = 0$$

$$(F_2 \times 200) + (W_2 \times 90) - (W_1 \times 549) - (F_1 \times 1000) = 0$$

$$F_2 = \frac{6 \times 9,81 \times 451 + 100 \times 9,81 \times 1000 - (2,5 \times 9,81 \times 90)}{200} = 5026,69 \text{ N}$$

➤ Diasumsikan $F_1 = 110$ kg

$$\sum Mo = 0$$

$$(F_2 \times 200) + (W_2 \times 90) - (W_1 \times 549) - (F_1 \times 1000) = 0$$

$$F_2 = \frac{6 \times 9,81 \times 451 + 110 \times 9,81 \times 1000 - (2,5 \times 9,81 \times 90)}{200} = 5517,19 \text{ N}$$

➤ Diasumsikan $F_1 = 120 \text{ kg}$
 $\sum Mo = 0$

$$(F_2 \times 200) + (W_2 \times 90) - (W_1 \times 451) - (F_1 \times 1000) = 0$$

$$F_2 = \frac{6 \times 9,81 \times 451 + 120 \times 9,81 \times 1000 - (2,5 \times 9,81 \times 90)}{200} = 6007,69 \text{ N}$$

• Diketahui luas penampang specimen :
 $A : \text{lebar} \times \text{tebal} = 15 \times 0,56 = 8,4 \text{ mm}^2$ Maka besarnya tegangan specimen (permisalan pada $F_1 = 50 \text{ kg}$):

$$\sigma_{total} = \frac{F_2}{A} = \frac{2574,19}{8,4} = 306,45 \text{ MPa}$$

Data Hasil Pengujian

Pengujian Benda Uji Tanpa Media Korosi

Pengujian benda uji tanpa media korosi dengan menggunakan beban maksimum 120 kg yang setara dengan tegangan 715.2 MPa menunjukkan benda uji mengalami perpatahan. Dan benda uji mengalami pertambahan panjang sebesar 17 mm.

Tabel 2 menyatakan hasil pengujian tarik benda uji, sementara itu kekuatan tarik berdasarkan pengujian adalah sebesar 773,8 MPa.

Tabel 2. Nilai pengujian kuat tarik pada specimen

No	Benda	Dimensi Spesimen		Lo (mm)	ΔL (mm)	Perpanjangan (%)	Fyield (kN)	σyield (N/mm ²) MPa	σmax (N/mm ²) MPa
		Lebar	Tebal						
1	Pelat	15	0,56	77,7	17	22	5,5	654,76	773,81

Keterangan : 1 N/mm² = 1MPa
 Lo = Panjang mula-mula
 Fyield = gaya leleh Fmax = gaya maksimum

Pengujian Material dengan Media Korosi

Data pertambahan panjang hasil pengujian alat uji *Stress Corrosion Craking* dengan spesimen *Stainless Steel AISI 430* Dengan variasi tegangan dan media korosi adalah sebagai berikut:

Data waktu dan pertambahan panjang pada Media korosi HCL 0,8 M (pH = 1.3) dengan Tegangan 189.27 MPa adalah : (Tabel 4.3)

1. *Stainless steel AISI 430* dengan tegangan 189.27 MPa

Data waktu dan pertambahan panjang pada Media korosi HCL 0,8M (pH = 1.3) dengan Tegangan 189.27 MPa adalah (Tabel 3):

Tabel 4. Data pada tegangan 189.24 MPa

HCL 0.8 M		
TEGANGAN (MPa)	WAKTU (JAM)	PERPANJANGAN (mm)
189.27	6	0.5
189.27	18	1
189.27	24	1.15
189.27	30	2
189.27	42	2.35
189.27	48	2.45
189.27	54	2.55
189.27	66	2.7
189.27	72	2.9
189.27	78	3.1
189.27	90	3.3
189.27	96	3.5
189.27	102	3.7
189.27	114	4
189.27	120	4.3
189.27	126	4.8
189.27	138	5.3
189.27	144	5.8 (Patah)

2. *Stainless Steel AISI 430* dengan tegangan 248.05 MPa

Data waktu dan pertambahan panjang pada media korosi HCL 0,8 M (pH = 1.3) dengan Tegangan 248.05 MPa adalah:

Tabel 4. Data pada tegangan 248.05 MPa

HCL 0.8 M		
TEGANGAN (MPa)	WAKTU (JAM)	PERPANJANGAN (mm)
248.05	6	0.4
248.05	18	1.2
248.05	24	1.6
248.05	30	2
248.05	42	2.85
248.05	48	3.3
248.05	54	3.7
248.05	66	4.2
248.05	72	4.65
248.05	78	5.1
248.05	90	6
248.05	96	6.6 (Patah)

3. *Stainless Steel AISI 430* dengan tegangan 306.45 MPa

Data waktu dan pertambahan panjang pada Media korosi HCL 0,8 M (pH = 1.3) dengan Tegangan 306.45 MPa adalah:

Tabel 5. Data pada tegangan 306.45 MPa

HCL 0.8 M		
TEGANGAN (MPa)	WAKTU (JAM)	PERPANJANGAN (mm)
306.45	6	0.6
306.45	18	1.8
306.45	24	2.6
306.45	30	3.35
306.45	42	4.85
306.45	48	5.65
306.45	54	6.4
306.45	66	7.9
306.45	72	8.55 (Patah)

4. Pengujian kekerasan *stainless steel AISI 430* dengan perlakuan korosi.

Untuk mengetahui tingkat kekerasan dari benda uji, maka dilakukan pengujian kekerasan dari beberapa titik pada benda uji *stainless steel* dengan pembebanan 30 Kg, 40 Kg, dan 50 Kgyang dilakukan menggunakan metode uji kekerasan mikro vickers, yang dilakukan

secara memanjang dari sisi kiri ke sisi tengah dari specimen, dengan jumlah jejak adalah 3 jejak, jarak antar jejak adalah 0,1 mm atau 100 μm.

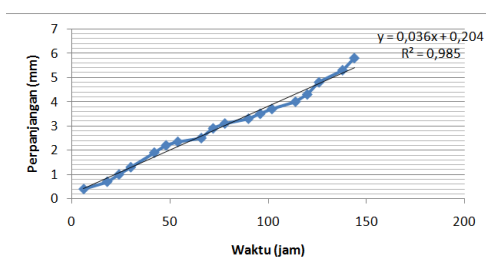
Tabel 6. Nilai kekerasan mikrovickers benda uji pada berbagai pembebanan.

No	Benda Uji	d ₁ (μm)	d ₂ (μm)	Rata-Rata (μm)	Kekerasan (VHN)
1	benda uji 30 kg	45	50	47.5	164.4
2		46	48	47	167.9
3		48.5	47	47.75	162.7
4	benda uji 40 kg	49	48.5	48.75	146.1
5		46	48.5	47.25	166.1
6	benda uji 50 kg	48	47	47.5	164.4
7		45	45.5	45.25	181.1
8		44	44.5	44.25	189.4
9		46	44.5	45.25	181.1

Grafik Data Hasil Pengujian

Spesimen Stainless Steel AISI 430 Dengan Tegangan 189,27 MPa.

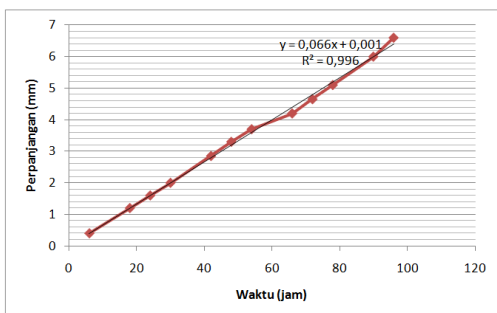
Grafik data hasil pengujian SCC untuk specimen *stainless steel AISI 430* dengan tegangan 189,27 Mpa adalah sebagai berikut:



Gambar 9. Grafik hubungan pertambahan panjang dengan waktu specimen *Stainless Steel AISI 430* dengan tegangan 189,27 Mpa

Spesimen Stainless Steel AISI 430 Dengan Tegangan 248,05 MPa

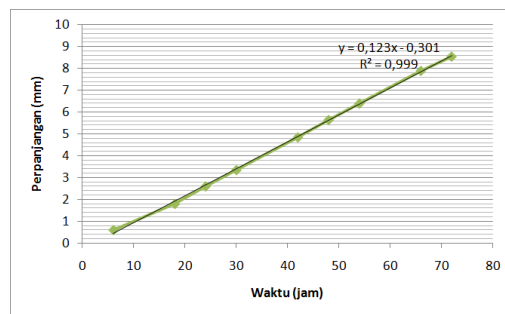
Grafik Data hasil pengujian SCC untuk specimen *stainless steel AISI 430* dengan tegangan 248,05 Mpa adalah sebagai berikut:



Gambar 10. Grafik hubungan pertambahan panjang dengan waktu specimen *stainless steel AISI 430* dengan tegangan 248,05 Mpa

Spesimen Stainless Steel AISI 430 Dengan Tegangan 306.45 MPa

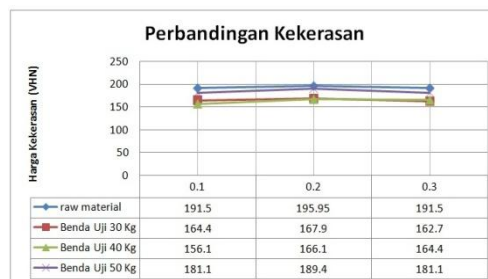
Grafik Data hasil pengujian SCC untuk specimen *stainless steel AISI 430* dengan tegangan 306.45 Mpa adalah sebagai berikut:



Gambar 11. Grafik hubungan pertambahan panjang dengan waktu specimen *Stainless Steel AISI 430* dengan tegangan 306.45 Mpa

Grafik harga kekerasan mikro vickers dengan variasi tegangan.

Grafik data hasil pengujian kekerasan mikro vickers untuk bahan uji *stainless steel AISI 430* dengan variasi tegangan 189.27 MPa, 248.05 MPa dan 306.45 MPa adalah sebagai berikut:



Gambar 12. Grafik pengujian kekerasan mikro vickers untuk bahan *stainless steel AISI 430* dengan variasi tegangan 189.27 MPa, 248.05 MPa dan 306.45 Mpa

Dari tabel di atas maka dapat disimpulkan bahwa kekuatan tarik dan kekerasan merupakan indikator ketahanan logam terhadap deformasi plastis. Konsekuensinya adalah terdapat korelasi secara kasar untuk kekuatan tarik.

Analisa Hasil Pengujian

Analisa Teoritis

Pengaruh Tegangan Terhadap Stress Corrosion Cracking

Stress corrosion cracking dapat terjadi karena dipengaruhi beberapa faktor antara lain seperti Tegangan yang ada pada benda uji masih dibawah kekuatan luluh (*yield strength*) dan kekuatan tarik (*tensile strength*). Selain itu specimen yang diberikan tegangan tarik juga akan menghasilkan tegangan geser yang dapat mempengaruhi kecepatan terjadinya *Stress Corrosion Cracking*. Hal tersebut dapat dilihat dalam tegangan tarik yang bekerja pada specimen *Stainless Steel AISI 430* sebesar 306.05 Mpa, sehingga tegangan geser yang bekerja pada specimen dapat dijelaskan sebagai berikut:

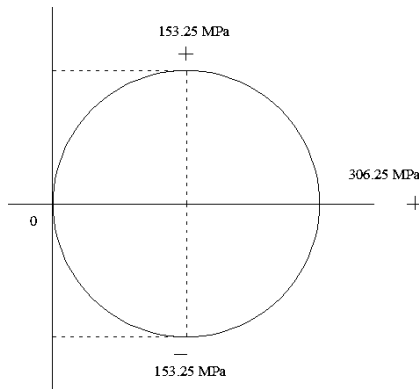
$$\sigma_{1 \text{ atau } 2} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\frac{(\sigma_x - \sigma_y)^2}{4} + \tau_{xy}^2}$$

$$\sigma_{1 \text{ atau } 2} = \frac{306,45 + 0}{2} \pm \sqrt{\frac{(306,45 - 0)^2}{4} + 0} = 306,45 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\min}^{\max} = \pm \sqrt{\frac{(\sigma_x - \sigma_y)^2}{4} + \tau_{xy}^2}$$

$$\tau_{\min}^{\max} = \pm \sqrt{\frac{(306,05 - 0)^2}{4} + 0} = 153,225 \text{ Mpa}$$

Dari hasil perhitungan rumus diatas, maka dapat disimpulkan bahwa benda uji mengalami tegangan tarik sebesar 306.05 Mpa, dan menerima tegangan geser sebesar setengah dari tegangan tarik, yaitu 153.225 Mpa. Hal ini dapat dilihat pada lingkaran tegangan mohr pada gambar 4.6 di bawah ini.



Gambar 13. Lingkaran mohr untuk tegangan 306.45 MPa

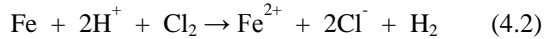
Pengaruh media korosi

Proses terjadinya stress corrosion cracking dilingkungan sehari – hari disebabkan oleh lingkungan yang berair, sebagai contoh adanya embun, air hujan, air danau, air tawar dan air laut. Semua itu merupakan media yang dianggap mempunyai konduktifitas yang cukup berfungsi sebagai elektrolit. Dalam hal ini HCL 0.8 M merupakan material yang dipilih sebagai media pengujian stress corrosion cracking.

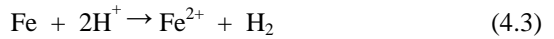
Prinsip dasar korosi logam besi dalam larutan asam klorida reaksinya dapat ditulis sebagai berikut:



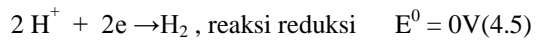
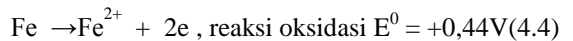
Asam klorida dan besi klorida larut dalam larutan, sehingga reaksinya adalah sebagai berikut :



Dalam reaksi II ion klorida diambil bagian dalam proses korosi besi, sehingga reaksinya adalah sebagai berikut :



Dari reaksi (III) dapat dilihat bahwa dalam proses korosi terjadi dua jenis reaksi yang berlangsung bersamaan, yaitu reaksi (IV) atau (V) sebagai berikut:



Reaksi (IV) adalah oksidasi dari proses terkorosi logam besi yang terjadi di daerah yang bersifat anodik atau anoda. Reaksi (V) yang berlangsung serempak, adalah reaksi reduksi yang disebut juga reaksi katodik yang terjadi di daerah yang bersifat katodik atau katoda.

Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa proses korosi dapat terjadi bila terdapat tiga unsur yaitu:

1. Ada anoda dimana reaksi anodik terjadi.
2. Ada katoda dimana reaksi katodik terjadi.
3. Ada lingkungan yang bersifat elektrolit.

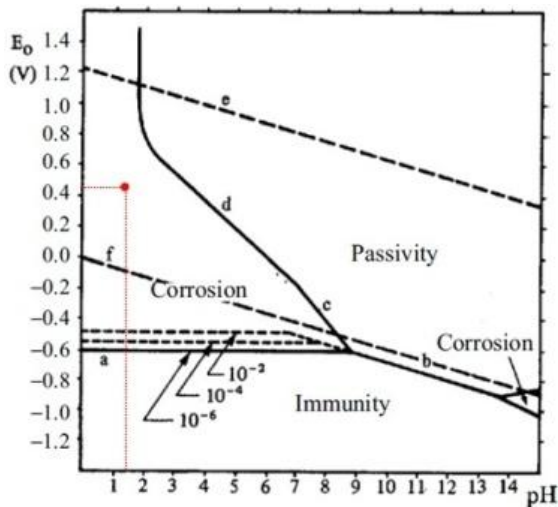
Derajat keasaman HCL 0.8 M adalah :

$$\begin{aligned} \text{H}^+ &= a \times M = 1 \times 1 = 1 \\ \text{pH} &= - \log \text{H}^+ \\ &= 0,8 \times 1 \\ &= 0,8 \\ \text{pH} &= - \log 0,8 \\ \text{pH} &= 1 - \log 8 \\ &= 0,0969 \end{aligned}$$

Derajat keasaman suatu lingkungan sangat mempengaruhi terjadinya korosi, semakin asam akan semakin cepat terjadi korosi.

Ini dapat dilihat pada gambar 14. Namun demikian pH terukur dengan menggunakan pH meter pada HCL 0,8 M sebesar 1,3. Pada gambar tersebut pada V = 0,44 volt dan pH = 1,3 diperoleh daerah korosi.

Memperlihatkan bahwa pengaruh korosi sangat signifikan pada *stainless steel*.



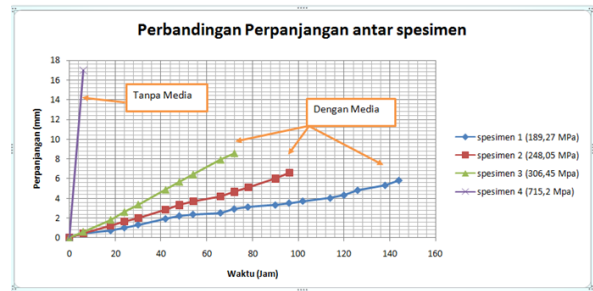
Gambar 14. Diagram pourbaix

Pengaruh tegangan terhadap ketahanan stress corrosion cracking stainless steel AISI 430 dengan media maupun tanpa media.

Berdasarkan hasil pengujian dapat dijelaskan tentang pengaruh tegangan terhadap ketahanan stress corrosion cracking stainless steel AISI 430 adalah:

- A. Semakin besar tegangan yang diberikan pada benda uji maka pertambahan panjang yang terjadi semakin besar untuk interval waktu dan jenis media korosi yang sama. Dan semakin besar tegangan maka semakin sedikit pula waktu yang diperlukan untuk mengalami perpatahan.
- B. Retakan atau perpatahan akan cepat terjadi jika besar beban pada benda uji semakin bertambah, dan sebaliknya perpatahan atau retakan akan semakin lama, jika besar beban semakin berkurang atau semakin ringan. Begitu pula dengan perhitungan waktu yang dibutuhkan.
- C. Dari hasil pengujian kekerasan didapatkan nilai kekerasan rata-rata benda uji tanpa perlakuan sebesar 192,98 VHN, dan hasil pengujian untuk benda uji yang mengalami pembebanan 30 kg sebesar 165,00 VHN, pembebanan 40 kg sebesar 162,20 VHN dan pembebanan 50 kg sebesar 183,87 VHN. Maka dapat disimpulkan nilai kekerasan yang paling tinggi adalah benda uji yang tidak mengalami pembebanan di banding dengan pembebanan 50 kg, 40 kg dan 30 kg, hal ini dikarenakan pengaruh korosi yang lebih besar berbanding terbalik dengan nilai kekerasan yang menurun.

Grafik perbandingan tegangan dapat dilihat dalam gambar 15.

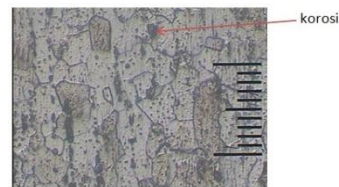


Gambar 15. Grafik perbandingan tegangan

Metalografi

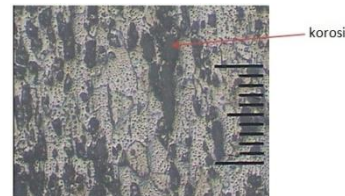
1. Metalografi pada spesimen sebelum pengujian *Stress Corrosion Cracking*

Gambar di bawah ini merupakan hasil mikrografi yang dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik dengan pembesaran 1 strip yang nilainya sama dengan 10 mikron. Mikrografi spesimen ini dilakukan sebelum pengujian.



Gambar 16. bentuk struktur mikro spesimen sebelum *Stress Corrosion Cracking*

2. Metalografi pada spesimen setelah pengujian *Stress Corrosion Cracking* dengan pembebanan 50 kg.



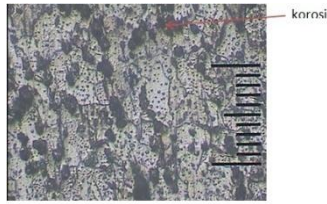
Gambar 17. Bentuk struktur mikro spesimen setelah pengujian *Stress Corrosion Cracking* dengan pembebanan 50kg.

3. Metalografi pada spesimen setelah pengujian *Stress Corrosion Cracking* dengan pembebanan 40 kg.



Gambar 18. Bentuk struktur mikro spesimen setelah pengujian *Stress Corrosion Cracking* dengan pembebanan 40kg.

4. Metalografi pada spesimen setelah pengujian *Stress Corrosion Cracking* dengan pembebanan 30 kg.



Gambar 19. Bentuk struktur mikro spesimen setelah pengujian *Stress Corrosion Cracking* dengan pembebanan 30kg.

KESIMPULAN

Stress corrosion cracking terjadi karena adanya beberapa faktor yang saling berkaitan yaitu adanya tegangan tarik statik, dan jenis media korosi.

Fenomena/proses terjadinya stress corrosion cracking terdiri dari tiga tahap yaitu:

- ✦ Tahap 1 atau munculnya retak dan penjalaran
- ✦ Tahap 2 atau penyebaran peretakan secara merata
- ✦ Tahap 3 atau penyebaran merata atau kegagalan terakhir.

Variasi tegangan/pembebanan pada benda uji, menunjukkan bahwa:

- ✦ Semakin besar tegangan / beban yang diberikan pada benda uji maka terjadi pertambahan panjang yang semakin besar pada media korosi dan interval waktu yang sama.
- ✦ Sedangkan semakin kecil tegangan / beban yang diberikan pada benda uji, maka akan semakin lama

spesimen terputus dan semakin banyak bagian yang terkorosi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mohammad Badaruddin, Ahmad Suudi, dan Arinal Hamni, 2006, "*Perilaku Korosi Retak Tegang Stainless Steel 304 Dalam Lingkungan Asam Sulfat Akibat Prestrain*", Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Bandar Lampung.
- [2] ASM international, 1990, "*Welding Brazing and soldering Vol 6*", United States of America.
- [3] ASM international, 1987, "*metal handbook ninth edition Vol 13 corrosion*", metal park, Ohio.
- [4] "Lingkaran Mohr Dan Source", <http://www.bambangpurwantana.staff.ugm.ac.id> (Diunduh Tanggal 10 Februari 2012)
- [5] Gadang Priyotomo, 2008, *Kamus Saku Korosi Material (Free E-Book Edisi Mahasiswa, Vol 1, No 1)*, Jakarta.
- [6] "Definisi Dan Macam Macam Tegangan", <http://fannybeearchi.wordpress.com> (Diunduh Tanggal 31 Januari 2012)
- [7] Karl Sieradzki, 2003, "*Stress Corrosion Cracking*", Arizona State University.
- [8] Kenneth R. Trethwey, John Chamberlain, 1991, "*Korosi Untuk Mahasiswa dan Rekayasawan*", Terjemahan Alex Tri Kantjono Widodo, PT. Gramedia Pustaka, Jakarta.
- [9] Scheel, Jeremy E, 2008, "*Mitigation Of Stress Corrosion Cracking in Nuclear Weldemens Using Low Plasticity Burnishing*", Florida, United States of America.