

STUDI PENGARUH RAPAT ARUS DAN WAKTU PADA PROSES PEMASUKAN HIDROGEN TERHADAP KEKUATAN TARIK, STRUKTUR MIKRO DAN MODE PATAHAN BAJA ASSAB 705

Helmy Alian

Jurusen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya
Jl. Raya Palembang-Prabumulih km 32 Inderalaya OI (30662) Telp.(0711) 580272
Fax.(0711) 580272 e-mail: helmya@yahoo.com

ABSTRAK

Baja-baja kekuatan tinggi seperti baja ASSAB 705 dapat mengadsorpsi atom hidrogen sehingga menjadi getas dan dapat gagal selama pemakaianya. Serangkaian percobaan telah dilakukan untuk melihat hubungan tingkat penggetasan baja ASSAB 705 akibat masuknya atom H ke dalam logam.

Pemasukan atom H ke dalam baja dilakukan secara elektrolisis dalam larutan $1\text{ N H}_2\text{SO}_4 + 5\text{ mg/l As}_2\text{O}_3$ dengan rapat arus yang diberikan $0,1\text{ mA/cm}^2$ sampai dengan 120 mA/cm^2 untuk waktu yang berbeda-beda. Penurunan sifat mekanik dipelajari melalui hasil uji tarik, sedangkan morfologi patahan dipelajari dengan menggunakan mikroskop optik dan SEM (scanning electron microscope).

Kerusakan dalam bentuk retakan yang disebabkan hidrogen dapat terjadi tanpa adanya tegangan luar (external stress). Pada pemasukan hidrogen secara katodik (cathodic charging) dalam larutan $1\text{ N H}_2\text{SO}_4 + 5\text{ mg/l As}_2\text{O}_3$ retakan mulai terjadi pada rapat arus 1 mA/cm^2 dengan waktu pemasukan hidrogen 10 menit. Besarnya rapat arus dan lamanya waktu pemasukan hidrogen secara katodik akan mempengaruhi laju penurunan kekuatan baja dan perubahan mode perpatahan. Pada pemasukan hidrogen dengan rapat arus rendah akan terjadi perpatahan batas butir (intergranular) sedangkan pada pemasukan hidrogen dengan rapat arus tinggi akan terjadi perpatahan lintas butir (transgranular).

I. PENDAHULUAN

1 Latar Belakang

Peristiwa korosi yang banyak terjadi di Industri, khususnya industri kimia, terjadi karena interaksi kimiawi antara logam dengan lingkungannya. Akibat peristiwa korosi yang tidak terkendali ini sangat merugikan, selain karena menyebabkan kerusakan peralatan juga menghentikan kegiatan produksi. Penggetasan hidrogen merupakan salah satu peristiwa korosi yang akibatnya cukup parah, karena dapat mengakibatkan kerusakan peralatan yang cukup berat dan pada beberapa keadaan dapat terjadi secara tiba-tiba.

Dari sekian banyak pengaruh yang diakibatkan hidrogen, ternyata bahwa pengaruh buruk utama hidrogen dalam logam/paduan adalah penurunan sifat mekanik logam dan paduannya, terutama kekuatan tariknya. Penurunan sifat mekanik ini disebabkan oleh hidrogen yang larut dalam logam umumnya menimbulkan distorsi yang relatif besar pada kisi sistem kristal (lattice). Hal ini mudah sekali terjadi pada besi a dan logam-logam dengan sel satuan kubus pusat badan (BCC). Sebagai konsekwensinya baja-baja martensitik dan feritik kekuatan tinggi mudah mengalami kegagalan yang disebabkan hidrogen, yang umumnya disebut penggetasan oleh hidrogen (hydrogen embrittlement).

Salah satu dari baja kekuatan tinggi yang banyak digunakan sebagai poros-poros, roda gigi-roda gigi dan bagian-bagian mesin untuk beban berat adalah baja ASSAB 705. Dalam pemakaianya baja ASSAB 705 ini sering dijumpai dalam tipe martensit temper, ini dimaksudkan untuk mendapatkan sifat-sifat mekanik yang baik (kekuatan tarik yang tinggi dengan keuletan yang cukup baik). Seperti telah dikemukakan diatas baja ASSAB 705 ini sensitif terhadap penggetasan oleh hidrogen. Oleh karena banyaknya penggunaan secara komersial dari baja ASSABG 705 pada lingkungan yang dapat menyebabkan korosi dengan reaksi katodik pembentukan hidrogen, maka pada kesempatan ini akan diteliti efek peningkatan penggetasan oleh hidrogen terhadap kekuatan tarik, dan morfologi perpatahan baja ASSAB 705 yang telah dilakukan perlakuan panas.

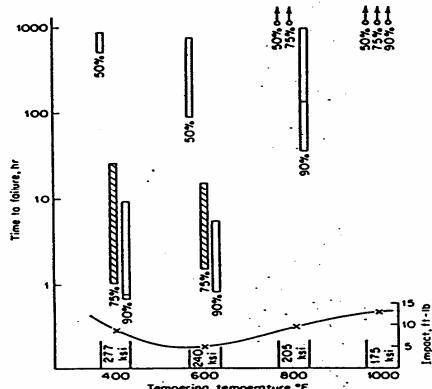
2 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini untuk menyelidiki, mengungkap dan mendiskusikan pengaruh masuknya hydrogen kedalam baja terhadap sifat mekanik terutama kekuatan tariknya dan morfologi perpatahannya.

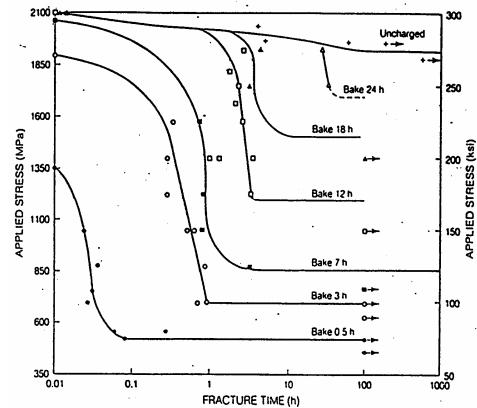
3 Landasan Teori

Dalam praktik, hidrogen bisa diabsorb dengan mudah kedalam logam yang berhubungan dengan hidrogen atau melibatkan lingkungan yang menghasilkan hidrogen dalam proses-proses seperti electroplating, pickling, casting, reaksi-reaksi korosi dan proteksi katodik. Beberapa teori tentang mekanisme penggetasan pada logam fero, sebagai hasil dari penelitian, telah banyak dipublikasikan. Semua teori tersebut melibatkan difusi H ke daerah-daerah yang bertegangan atau mikrovoid dalam material yang selanjutnya akan merupakan tempat awal terjadinya kegagalan. Tetapi meskipun demikian, beberapa teori menyebutkan bahwa dibawah harga konsentrasi H tertentu, tidak akan terjadi proses penggetasan.^[1] Harga konsentrasi H tersebut sangat dipengaruhi oleh : komposisi kimia logam yang bersangkutan, struktur mikro, konfigurasi tegangan dan besarnya deformasi plastis yang dialami oleh logam yang bersangkutan.^[1]

Untuk titanium dan logam-logam yang membentuk hidrida yang kuat lainnya, reaksi-reaksi hidrogen terlarut membentuk senyawa-senyawa hidrida yang bersifat getas. Dalam logam-logam lain, seperti besi dan baja, interaksi antara atom-atom hidrogen terlarut dengan logam tidak diketahui secara sempurna. Ada indikasi bahwa suatu kerusakan berat dari retak yang diakibatkan lingkungan dari paduan-paduan dasar feritik dan martensitik dan paduan-paduan dasar titanium merupakan interaksi dari retak dengan hidrogen. Karakteristik-karakteristik secara umum dari kerentanan retakan yang demikian di ilustrasikan dalam gambar 1. untuk craking dari baja tipe 4340 (0,40 %C, 0,70 %Mn, 0,04 %P, 0,04 %S, 0,30 %Si, 1,8 %Ni, 0,80 %Cr, 0,25 %Mo). Gambar 1. ini memperlihatkan waktu untuk patah terhadap temperatur temper untuk baja 4340 pada tingkat tegangan 50, 75, dan 90 % dari tegangan patah. Spesimen dicelup dalam larutan 3,5 % NaCl pada temperatur kamar. Gambar



Gambar 1. Waktu patah vs temperatur temper



Gambar 2. Kurva waktu patah vs tegangan

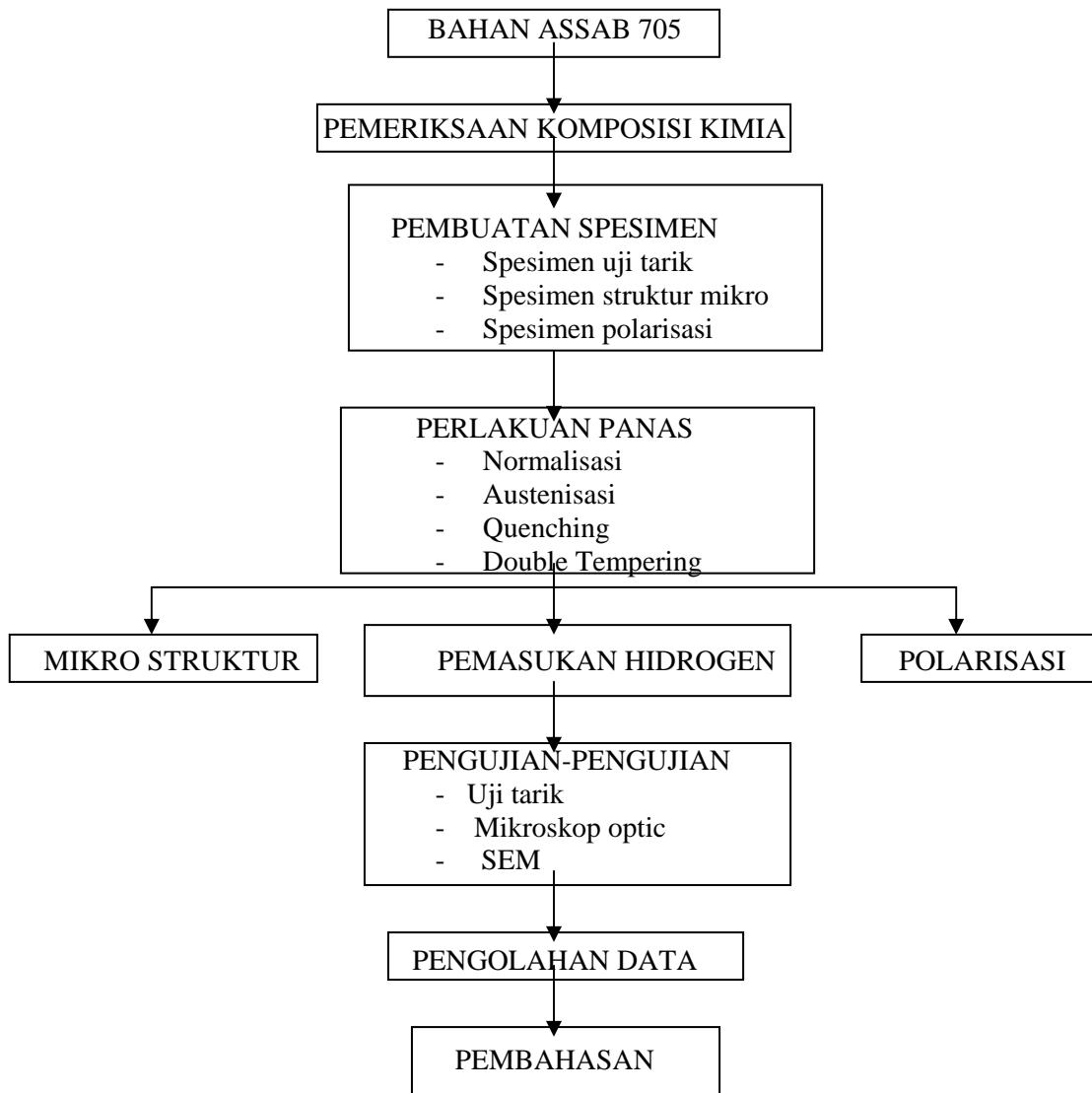
ini menunjukkan bahwa tingkat kekuatan lebih tinggi akan lebih mudah terjadi retakan dan tegangan yang lebih tinggi menyebabkan retakan terjadi lebih cepat. Kecenderungan ini umumnya untuk sebagian besar paduan-paduan yang menjadi sasaran penggetasan hidrogen, yaitu paduan-paduan yang sangat mudah mengalami retakan pada tingkat kekuatan tertinggi dari paduan tersebut.

Gambar 2. menunjukkan kurva-kurva waktu patah terhadap tegangan pada baja AISI 4340 untuk berbagai konsentrasi hidrogen. Dalam kasus ini baja tersebut dipanaskan pada temperatur 300 °F dengan waktu pemanasan berbeda-beda setelah dilakukan pemasukan hydrogen.

Proses perpatahan terdiri atas dua tahap, yaitu timbulnya retak dan tahap penjalaran retak. Patah dapat digolongkan dalam dua katagori umum, yaitu patah ulet dan patah getas. Patah ulet ditandai oleh deformasi plastis yang cukup besar, sebelum dan selama proses penjalaran retak. Pada permukaan biasanya Nampak adanya deformasi yang cukup besar. Patah getas pada logam, ditandai oleh adanya kecepatan penjalaran retak yang tinggi, tanpa terjadi deformasi makso dan sedikit sekali terjadi deformasi mikro.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan seperti pada diagram alir penelitian berikut ini :



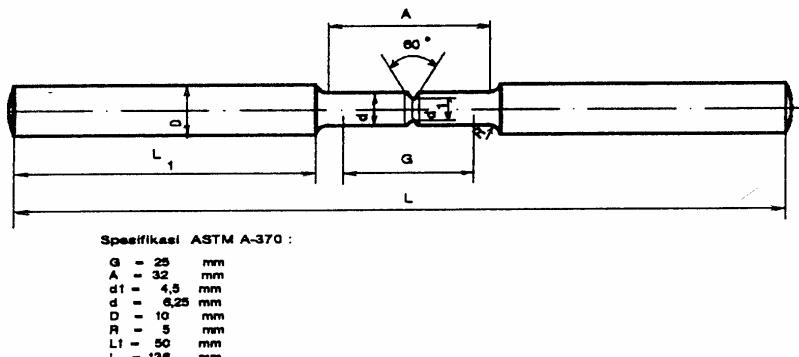
Gambar 3. Diagram alir penelitian

1. Komposisi bahan ASSAB 705 dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 1. Komposisi kimia baja ASSAB 705

Unsur	% berat
C	0,37
Si	0,34
Mn	0,81
P	0,02
S	0,01
Cu	0,11
Ni	1,36
Cr	1,38
Mo	0,25
Fe	Balance

2. Spesimen uji tarik mengikuti spesifikasi ASTM A-370 seperti pada gambar 4 berikut ini.



Gambar 4. Spesimen uji tarik

3. Baja ASSOB 705 ini diberi perlakuan panas untuk mendapatkan tingkat kekuatan tarik yang tinggi sesuai dengan yang biasa digunakan pada pemakaiannya, yaitu terdiri dari normalisasi 900 °C, 1 jam, pendinginan udara), austenisasi (840 °C, 1 jam) , didinginkan kejut dengan oli sampai lebih kurang 60 °C, kemudian dilakukan temper ganda selama 2 jam + 2 jam.
4. Pengukuran polarisasi dilakukan dengan mengacu standar ASTM G5-78 tentang metode acuan standar untuk melakukan pengukuran polasisasi secara potensiostatik dan potensiodinamik. Peralatan yang digunakan dalam pengukuran polarisasi ini menggunakan NICHJIA NP-G1005ED yang dihubungkan dengan pengatur tegangan yang dapat deprogram NICHIA POTENSIAL SCANNER ES-51A, dan hasilnya direkam dengan alat Y-T RECORDER YOKOGAWA 3023.
5. Hidrogen dimasukkan kedalam baja secara elektrolisis untuk maksud ini digunakan larutan 1N asam sulfat ditambah dengan 5 mg/l arsenic trioxida. Variabel pemasukan hydrogen pada percobaan ini adalah rapat arus dan waktu charging yang ditunjukkan dalam tabel 2.

Tabel 2 Variabel rapat arus dan waktu pemasukan hidrogen

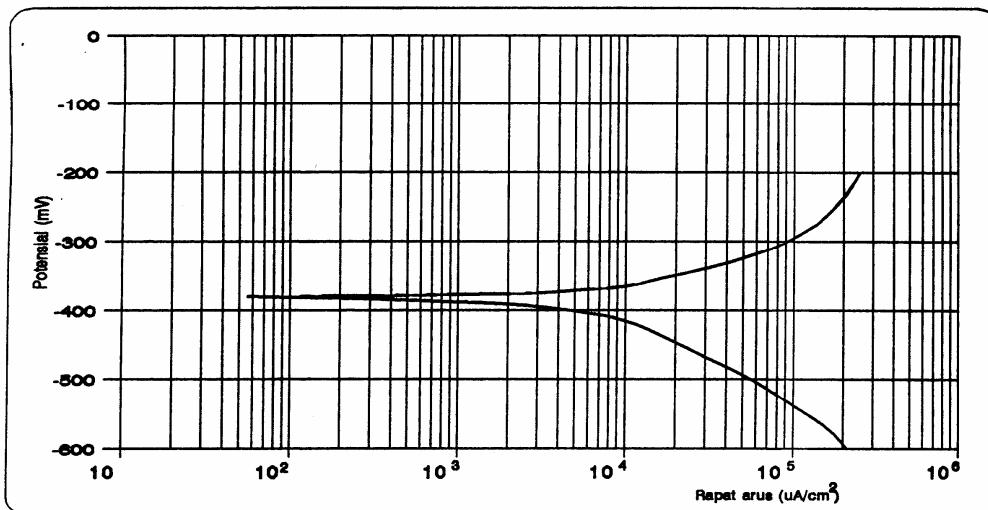
No.	Larutan	Rapat Arus	Waktu
1	1N H ₂ SO ₄ + 5 mg/l As ₂ O ₃	0,1 mA/cm ²	10, 30, 60, 180 menit
2	1N H ₂ SO ₄ + 5 mg/l As ₂ O ₃	1 mA/cm ²	10, 30, 60, 180 menit
3	1N H ₂ SO ₄ + 5 mg/l As ₂ O ₃	10 mA/cm ²	10, 30, 60, 180 menit
4	1N H ₂ SO ₄ + 5 mg/l As ₂ O ₃	30 mA/cm ²	10, 30, 60, 180 menit
5	1N H ₂ SO ₄ + 5 mg/l As ₂ O ₃	100 mA/cm ²	10, 30, 60, 180 menit
6	1N H ₂ SO ₄ + 5 mg/l As ₂ O ₃	120 mA/cm ²	10, 30, 60, 180 menit

III. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

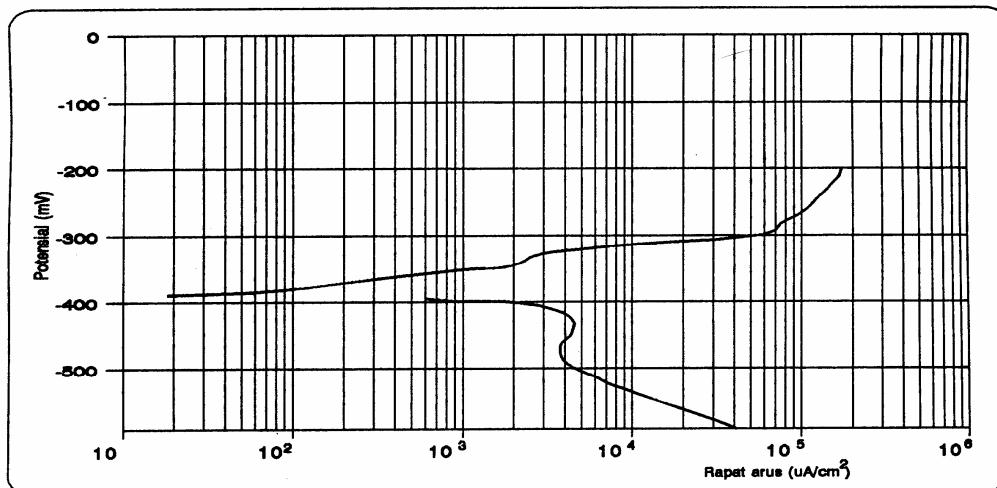
1 Pengukuran Polarisasi

Pengukuran polarisasi ini dimaksudkan untuk menentukan rapat arus pada waktu pemasukan hidrogen ke dalam baja secara elektrolis. Gambar 5 adalah kurva polarisasi baja ASSAB 705 dalam larutan 1N H₂SO₄ sedangkan hasil untuk larutan 1N H₂SO₄ + 5 mg/l As₂O₃ ditunjukkan dalam gambar 6. Dalam gambar 6 tersebut dapat kita lihat saat polarisasi katodik reaksi reduksi ion H⁺ lebih dominan dari reaksi oksidasi Fe menjadi Fe²⁺. Reaksi oksidasi Fe menjadi Fe²⁺ selanjutnya diabaikan keberadaannya setelah over potensial katodik < - 0,12 volt.

Rapat arus kurva polarisasi katodik dalam gambar 6 terletak antara $10^2 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ (0,1 mA/cm²) dan $10^5 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ (100 mA/cm²), sehingga dalam percobaan ini rapat arus yang dipakai dalam pemasukan hidrogen divariasiakan sebagai berikut : 0,1 mA/cm² , 1 mA/cm², 10 mA/cm², 30 mA/cm², 100 mA/cm², 120 mA/cm².



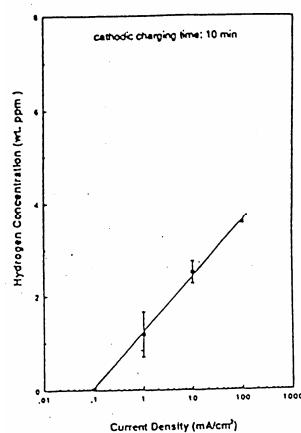
Gambar 5. Kurva polarisasi baja ASSAB 705 dalam larutan 1N H_2SO_4



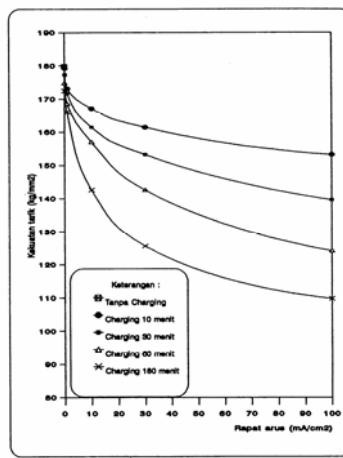
Gambar 6. Kurva polarisasi baja ASSAB 705 dalam larutan 1N $\text{H}_2\text{SO}_4 + 5 \text{ mg/l As}_2\text{O}_3$

2. Pengaruh Hidrogen Terhadap Kekuatan Baja

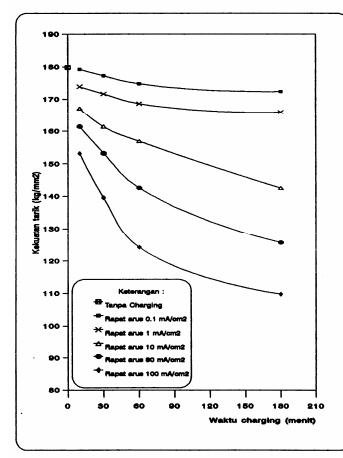
Akibat dari masuknya hidrogen selain meningkatkan kegetasan juga akan menurunkan kekuatan baja. Dalam penelitian ini kosentrasi hidrogen secara kuantitatif yang masuk ke dalam baja tidak dapat ditentukan karena keterbatasan peralatan. Sebagai gambaran besarnya konsentrasi hidrogen setelah pemasukan hidrogen secara katodik, dapat dilihat dari hasil penelitian *Shim* dan *Byrne*^[5] pada gambar7. Gambar 8 dan 9 menunjukan penurunan kekuatan tarik terhadap rapat arus dan lamanya waktu pemasukan hidrogen. Dari sini juga terlihat rapat arus dan waktu pemasukan hidrogen mempengaruhi konsentrasi hidrogen. Pada pengujian tarik ini spesimen dengan rapat arus 120 mA/cm² tidak ditarik karena terlihat terkorosi dan terlihat lubang-lubang kecil dipermukaan spesimen.



Gbr 7. Pengaruh rapat arus terhadap konsentrasi hidrogen pada baja AISI 4340



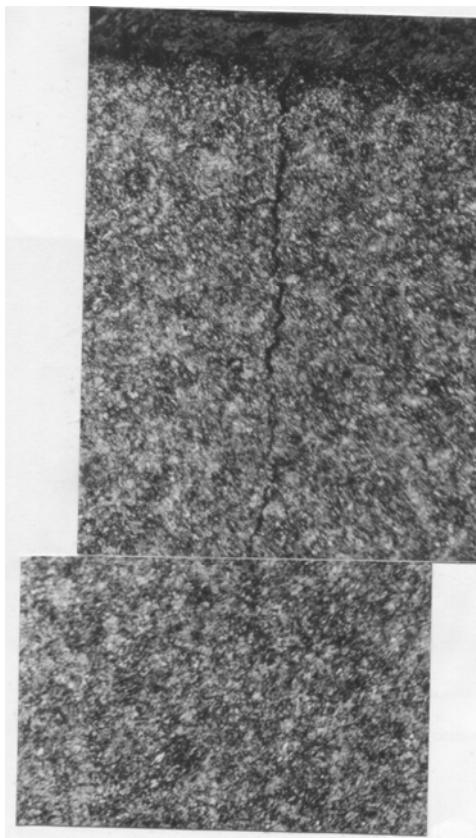
Gbr 8. Pengaruh rapat arus terhadap kekuatan tarik baja ASSAB 705



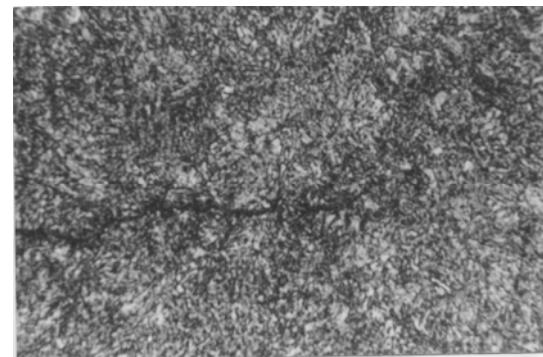
Gbr 9 Pengaruh waktu charging terhadap kekuatan tarik baja ASSAB 705

3. Retakan yang Disebabkan Hidrogen

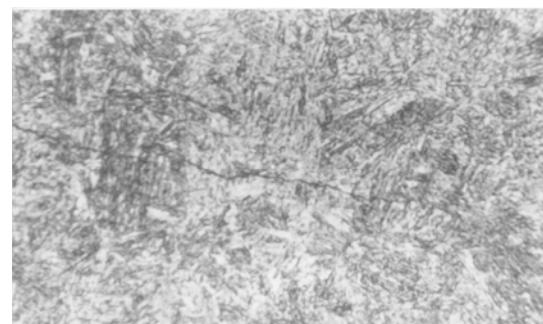
Pada penelitian dari penomena penggetasan hidrogen pada besi dan baja, sejumlah konsep seperti *blister*, penurunan energi permukaan retak, interaksi hidrogen dengan dislokasi telah dikemukakan.^[4] Ciszewski^[5] berpendapat bahwa pada baja 1 %Cr di quench dan di temper, pemasukan hidrogen secara elektrolisis menghasilkan retakan oleh pengendapan hidrogen disekitar inklusi.



Gambar 10. Retakan pemasukan hidrogen dengan rapat arus 100 mA/cm², waktu 180 menit



Gambar 11. Retakan pemasukan hidrogen dengan rapat arus 30 mA/cm², waktu 60 menit

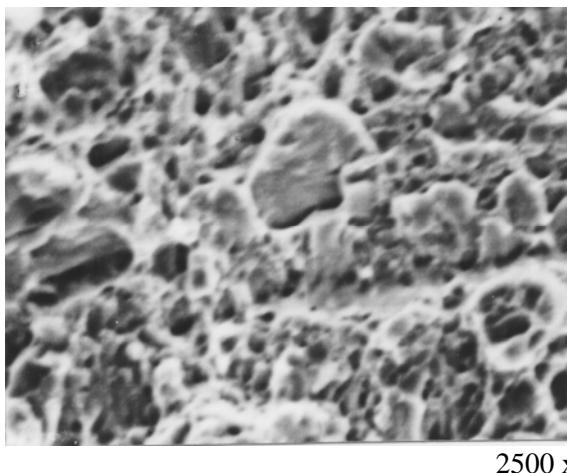


Gambar 12. Retakan pemasukan hidrogen dengan rapat arus 10 mA/cm², waktu 60 menit

Gambar 10 memperlihatkan retakan yang disebabkan oleh hidrogen yang mana retak berawal dari bagian luar dan menjalar ke bagian dalam benda uji. Gambar 11 memperlihatkan bagian dalam (interior) retakan, sedangkan pada gambar 12 memperlihatkan adanya slip steps yang menunjukkan peran dislokasi terhadap transport hidrogen.

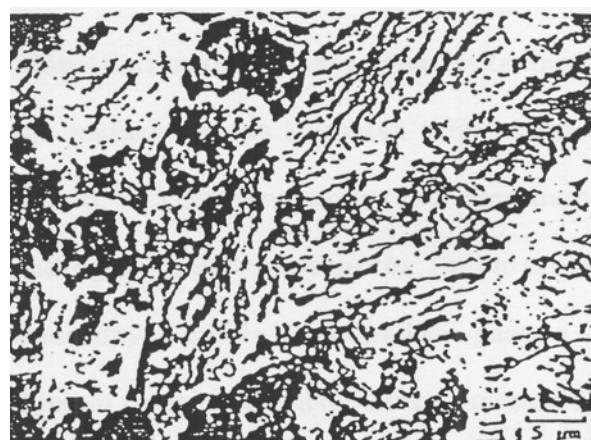
4. Fraktografi

Permukaan perpatahan dari spesimen tarik diamati dengan menggunakan SEM (scanning electron microscope). Gambar 13 hasil pengamatan dengan SEM pada permukaan perpatahan dengan rapat arus 1 mA/cm^2 yang mana merupakan perpatahan batas butir (*intergranular*). Gambar 14 hasil pengamatan pada rapat arus pemasukan hidrogen 100 mA/cm^2 yang mana perpatahan merupakan perpatahan lintas butir (*transgranular*) yang dominan.



2500 x

Gambar 13. Permukaan patahan baja ASSAB 705 dengan rapat arus pemasukan hidrogen 1 mA/cm^2



2500 x

Gambar 14. Permukaan patahan baja ASSAB 705 dengan rapat arus pemasukan hidrogen 100 mA/cm^2

IV. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian dan pembahasan yang telah dikemukakan diatas dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada pemasukan hidrogen secara elektrolisis, rapat arus dan lamanya waktu pemasukan hidrogen akan mempengaruhi jumlah hidrogen yang masuk ke dalam baja.
2. Masuknya hidrogen ke dalam baja, akan menurunkan kekuatan tarik baja tersebut.
3. Pada baja kekuatan tinggi seperti ASSAB 705 yang telah dilakukan perlakuan panas, hidrogen akan menyebabkan perubahan mode perpatahan dari ulet ke getas.
4. Pada baja kekuatan tinggi masuknya hidrogen dapat menyebabkan keretakan.
5. Pada pemasukan hidrogen dengan rapat arus rendah (1 mA/cm^2) akan terjadi perpatahan batas butir (*intergranular*) sedangkan pada pemasukan hidrogen dengan rapat arus tinggi (100 mA/cm^2) akan terjadi perpatahan lintas butir (*transgranular*) yang dominan.

V. DAFTAR PUSTAKA

1. NACE, 1993, Stress Corrosion Cracking and Hydrogen Embrittlement of Iron base Alloys, Research Committee, USA.
2. Shim, I.O and Byrne, 1990, A Study of Hydrogen Embrittlement in 4340 Steel, Material Science and Engineering, Research Committee, USA.
3. John P. Hirth, 1990, Effects of Hydrogen on the Properties of Iron and Steel, Metallurgical transaction, Volume 11A.

4. Janusz Flis, 1999, Corrosion of Metals and Hydrogen Related Phenomena, PWN-Polish Scientific Publishers, Poland.
5. Cieszewski, 1997, Stress Corrosion Cracking and hydrogen Embrittlement of Iron Base Alloys, NACE.
6. Jones, D.A., 1992, Principles and Prevention of Corrosion, Macmillan Publishing Company, New York.
7. Peng Yuqing, 1998, An Investigation of Corrosion Fatigue Fracture for 40CrNiMo Steel, Proceeding of International Conference, Pergamon Press.
8. Shrein, 1996, "Corrosion", , Newness - Butterworths London, Vol.1.