

Pengaruh Rapat Arus dan Waktu Pada Proses Pemasukan Hidrogen Secara Elektrolisa Terhadap Kegetasan Baja ASSAB 705

Helmy Alian

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya
Jl.Raya Palembang-Prabumulih KM32 Inderalaya (30662)
e-mail: helmyalian@yahoo.co.id

Abstrak

Abstra Kegagalan akibat masuknya hidrogen kedalam baja-baja kekuatan tinggi dapat terjadi karena baja tersebut menjadi getas. Serangkaian percobaan telah dilakukan untuk melihat hubungan tingkat penggetasan baja ASSAB 705 akibat masuknya atom hydrogen ke dalam logam.

Pemasukan atom hidrogen ke dalam baja dilakukan secara elektrolisa dalam larutan $1\text{N } \text{H}_2\text{SO}_4 + 5 \text{ mg/l As}_2\text{O}_3$ dengan rapat arus yang diberikan $0,1 \text{ mA/cm}^2$ sampai dengan 100 mA/cm^2 dengan waktu 15 menit sampai dengan 300 menit. Penurunan sifat mekanik dipelajari melalui hasil uji tarik dan kekerasan, 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 $1\text{N } \text{H}_2\text{SO}_4 + 5 \text{ mg/l As}_2\text{O}_3$ retakan mulai terjadi pada rapat arus 5 mA/cm^2 dengan waktu pemasukan hidrogen 15 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*).

Keywords: penggetasan hidrogen, rapat arus, waktu, batas butir dan lintas butir.

Pendahuluan

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 (dan logam-logam dengan sel satuan kubus pusat badan (BCC). Sebagai konsekwensinya

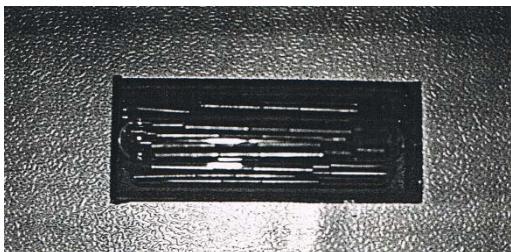
baja-baja martensitik dan feritik kekuatan tinggi mudah mengalami kegagalan yang disebabkan hidrogen, yang umumnya disebut penggetasan oleh hidrogen (hydrogen embrittlement)[8].

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 pemakaiannya 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 ASSAB 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 sifat morfologi perpatahan baja ASSAB 705 yang telah dikenai perlakuan panas.

Metoda Eksperimen & Fasilitas Yang Digunakan

Penelitian ini akan dilakukan dengan tahapan-tahapan sebagai berikut :

(1). Baja ASSAB 705 ini diberi perlakuan panas untuk mendapatkan tingkat kekuatan tarik yang tinggi sesuai dengan yang biasa digunakan pada pemakaianya, yaitu terdiri dari normalisasi (900°C , 1 jam, pendinginan udara), austenisasi (840°C , 1 jam), didinginkan kejut dengan oli sampai (60°C , kemudian dilakukan temper ganda pada 200°C (dimana temperatur Ms baja ini adalah (320°C) selama 2 jam + 2 jam. Temper ganda ini dilakukan untuk menjamin transformasi austenit ke martensit sebanyak mungkin.

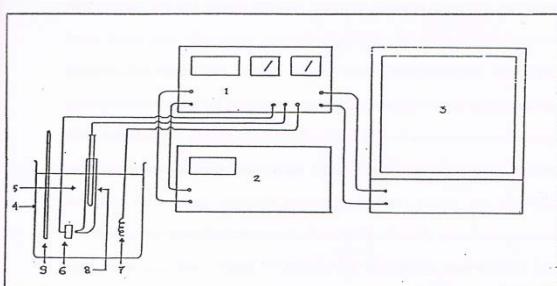


Gambar 1. Kapsul benda uji, diisi gas argon 10^{-3} bar



Gambar 2. Struktur mikro baja ASSAB 705 setelah perlakuan panas

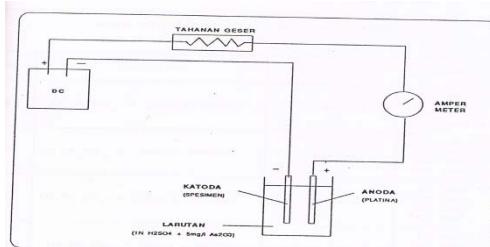
(2). Pengukuran polarisasi dilakukan dengan mengacu standar ASTM G5-7, alat yang digunakan dalam pengukuran polarisasi ini menggunakan potensiostat/galvanostat NICHIA NP-G1005ED yang dihubungkan dengan pengatur tegangan yang dapat diprogram, NICHIA POTENTIAL SCANNER ES-51A, dan hasilnya direkam dengan alat Y-T RECORDER YOKOGAWA 3023. Skema rangkaian percobaan pengukuran polarisasi ditunjukkan dalam berikut.



Gambar 3. Skema rangkaian percobaan pengukuran polarisasi

(3). Hidrogen dimasukkan kedalam baja secara elektrolisa dalam larutan 1N asam sulfat ditambah

dengan 5 mg/l arsenic trioxida. Sel elektrolisis yang digunakan untuk melakukan pemasukan hidrogen dalam percobaan ini terdiri dari platina sebagai anoda, specimen sebagai katoda dan sebuah termometer yang dicelup dalam larutan. Skema rangkaian percobaan pemasukan hidrogen ini ditunjukkan dalam gambar berikut.



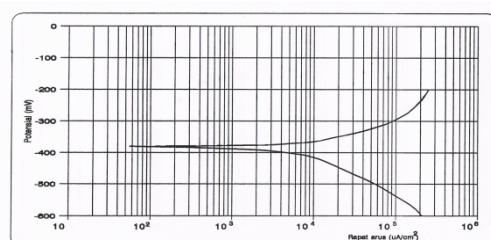
Gambar 4. Skema rangkaian Percobaan "Hydrogen Charging"

(3). Penurunan sifat mekanik dari baja akan dipelajari melalui hasil uji tarik. Morfologi patahan juga diamati untuk mempelajari mode perpatahan. Permulaan dan penjalaran patahan yang disebabkan hidrogen dipelajari dengan menggunakan mikroskop optik dan "scanning electron microscope" (SEM).

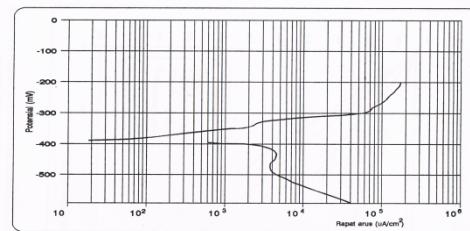
Hasil dan Pembahasan

1. Pengukuran Polarisasi

Harga-harga potensial (mV) dan rapat arus ((A/cm²) dari hasil percobaan disusun dalam sebuah tabel kemudian dibuat grafik dengan E sebagai ordinat dan log i sebagai absis. Kurva hasil pengukuran polarisasi untuk baja ASSAB 705 dalam larutan 1N H_2SO_4 , ditunjukkan dalam gambar 5, sedangkan kurva hasil pengukuran polarisasi untuk baja ASSAB 705 dalam larutan 1N $\text{H}_2\text{SO}_4 + 5 \text{ mg/l As}_2\text{O}_3$ ditunjukkan dalam gambar 6.



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



Gambar 6. Kurva polarisasi baja ASSAB 705 dalam

larutan 1N $\text{H}_2\text{SO}_4 + 5 \text{ mg/l As}_2\text{O}_3$

Pengukuran polarisasi ini dimaksudkan untuk menentukan rapat arus pada waktu pemasukan hidrogen ke dalam baja secara elektrolisis. Gambar 6 dapat kita lihat bahwa polarisasi katodik terjadi dalam arah negatif. Saat polarisasi katodik reaksi reduksi ion H^+ lebih dominan dari reaksi oksidasi Fe menjadi Fe^{2+} . Reaksi oksidasi Fe menjadi Fe^{2+} selanjutnya diabaikan keberadaannya setelah over potensial katodik < -0,12 volt.

Rapat arus kurva polarisasi katodik dalam gambar .6 tersebut terletak diantara $10^2 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ ($0,1 \text{ mA}/\text{cm}^2$) dan $10^5 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ ($100 \text{ mA}/\text{cm}^2$), sehingga dalam percobaan ini rapat arus yang dipakai dalam pemasukan hidrogen divariasikan sebagai berikut : $0,1 \text{ mA}/\text{cm}^2$, $1 \text{ mA}/\text{cm}^2$, $10 \text{ mA}/\text{cm}^2$, $30 \text{ mA}/\text{cm}^2$ dan $100 \text{ mA}/\text{cm}^2$. Gambar 6 tersebut rapat arus $0,1 \text{ mA}/\text{cm}^2$ mendekati keadaan saat terkorosi, dimana terjadi reaksi reduksi ion H^+ dan pelarutan Fe menjadi Fe^{2+} secara bersamaan. Pada rapat arus $100 \text{ mA}/\text{cm}^2$ reaksi yang terjadi dipermukaan logam dianggap hanya reduksi ion H^+ .

Pada kurva polarisasi baja dalam larutan H_2SO_4 yang mengandung As_2O_3 (gambar 6), pada kurva polarisasi katodiknya, rapat arus nya lebih kecil dibandingkan dengan kurva polarisasi katodik baja dalam larutan H_2SO_4 tanpa As_2O_3 (gambar 5). Kenaikan over potensial atau terhambatnya laju reaksi reduksi ion H^+ diakibatkan oleh adanya As_2O_3 dalam larutan yang menghambat reaksi pembentukan H^+ .

2. Pengaruh Kondisi Pemasukan Hidrogen

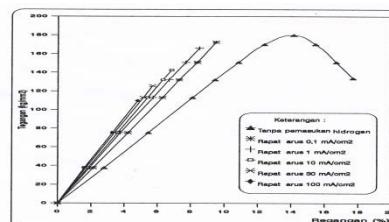
Dari hasil penelitian, Shim dan Byrne [1] menyatakan bahwa aktivitas hidrogen yang dihasilkan pada pemasukan hidrogen secara elektrolisis sangat tergantung pada jenis elektrolit, kadar racun hidrogen (hydrogen poison) dan rapat arus yang diberikan. Xie dan Hirth [6] menyatakan bahwa pembentukan retakan-retakan pada baja AISI 4340 mulai terjadi pada rapat arus $100 \text{ mA}/\text{cm}^2$ dalam larutan 1 N asam sulfat yang mengandung $100 \text{ mg/l thiourea}$. Pada penelitian ini pembentukan retakan-retakan pada permukaan benda uji yang mungkin diakibatkan oleh penggetasan dan residual stress telah mulai terlihat pada $1 \text{ mA}/\text{cm}^2$ dalam $1\text{N H}_2\text{SO}_4 + 5 \text{ mg/l As}_2\text{O}_3$.

Kalau dibandingkan pada penelitian Xie dan Hirth diatas pembentukan retakan pada penelitian ini terjadi pada rapat arus yang lebih kecil. Ini disebabkan penggunaan racun hidrogen yang berbeda dimana pada penelitian ini menggunakan arsenic trioxida sedangkan Xie dan Hirth menggunakan thiourea. Kenyataan ini sejalan dengan hasil penelitian dari Shim dan Byrne[1] yang menunjukkan bahwa As_2O_3 lebih efektif dari pada thiourea sebagai racun hidrogen untuk memasukkan atom H ke dalam logam.

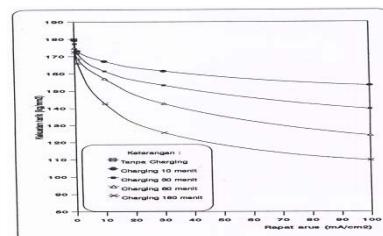
3. Pengaruh Hidrogen Terhadap Kekuatan Baja

Gambar 7 adalah kurva tegangan - regangan baja ASSAB 705 sebelum dan sesudah pemasukan hidrogen dengan waktu pemasukan 180 menit.

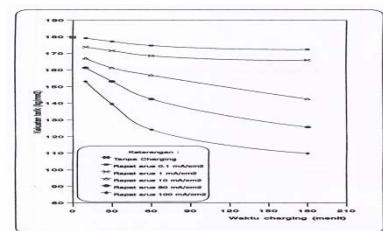
Jelas dari gambar 8 dan gambar 9 tersebut kekuatan material akan menurun dengan bertambahnya rapat arus dan waktu pemasukan hidrogen.



Gambar 7. Kurva tegangan vs regangan aja ASSAB 705 tanpa dan dengan pemasukan hidrogen selama 180 menit.



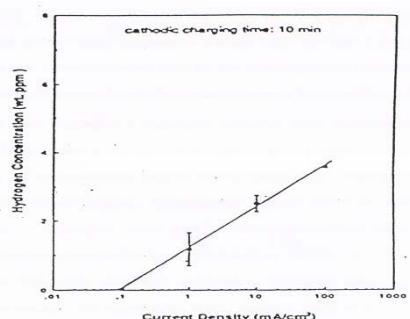
Gambar 8. Pengaruh rapat arus terhadap kekuatan tarik baja ASSAB 705



Gambar 9. Pengaruh waktu charging terhadap kekuatan tarik baja ASSAB 705

Oleh karena rapat arus dan waktu pemasukan hidrogen mempengaruhi konsentrasi hidrogen, maka dapat disimpulkan bahwa meningkatnya konsentrasi hidrogen yang diserap baja akan menurunkan kekuatan baja tersebut.

Dalam penelitian ini analisa konsentrasi hidrogen tidak dilakukan karena keterbatasan peralatan. Sebagai gambaran besarnya konsentrasi hidrogen dalam logam setelah dilakukan pemasukan hidrogen secara katodik, dapat dilihat dari hasil penelitian Shim dan Byrne[1] pada gambar berikut.



Gambar 10. Pengaruh rapat arus terhadap kosentrasi hydrogen pada baja AISI 4340 setelah di charging selama 10 menit dalam larutan 1N H_2SO_4 + 5 mg/l As_2O_3 .[1]

4. Retakan Yang Disebabkan Oleh Hidrogen

Retakan-retakan yang terjadi pada beberapa benda uji diamati dengan mikroskop optik. Pengamatan dilakukan pada penampang benda uji yang dipotong tepat pada takikan setelah dilakukan pemasukan hidrogen secara elektrolisis. Larutan yang digunakan adalah 1N asam sulfat + 5 mg/l arsenic trioxida dengan rapat arus dan lamanya waktu pemasukan hidrogen yang berbeda. Retakan-retakan pada benda uji yang disebabkan oleh hidrogen ini dilihat dalam gambar 11, 12 dan 13.



Gambar 11 Retakan yang disebabkan hidrogen pada rapat arus pemasukan hidrogen 100 mA/cm², waktu 180 menit



Gambar 12. Retakan yang disebabkan hidrogen pada rapat arus 30 mA/cm², waktu 60 menit



Gambar 13. Retakan yang disebabkan hidrogen pada rapat arus 10 mA/cm², waktu 60 menit

Pada penelitian dari penomena penggetasan hidrogen pada besi dan baja, sejumlah konsep seperti pembentukan lepuh (blister), penurunan energi permukaan retak, interaksi hidrogen dengan dislokasi telah dikemukakan.[22] Ciszewski[24] berpendapat bahwa, pada baja 1 % Cr di quench dan di temper, pemasukan hidrogen secara elektrolisis menghasilkan retakan oleh pengendapan hidrogen disekitar inklusi. Gambar 11 memperlihatkan retakan yang disebabkan oleh hidrogen yang mana retak berawal dari bagian luar dan berkembang ke bagian dalam benda uji. Gambar 12 memperlihatkan bagian dalam (interior) retakan, sedangkan gambar 13 memperlihatkan adanya slip steps yang menunjukkan peran dislokasi terhadap transport hidrogen.

5. Fraktografi

Setelah dilakukan uji tarik, permukaan patahan dari benda uji tersebut diamati dengan menggunakan SEM (scanning electron microscope). Gambar 14 adalah permukaan perpatahan dari benda uji tarik yang sebelumnya dilakukan pemasukan hidrogen dengan rapat arus 1 mA/cm² dalam larutan 1N asam sulfat + 5 mg/l arsenic trioxida, sedangkan gambar 15 menunjukkan permukaan perpatahan pada rapat arus pemasukan hidrogen 100 mA/cm² dengan larutan yang sama.



Gambar 14. Permukaan patahan baja ASSAB 705 dengan rapat arus pemasukan hidrogen 1 mA/cm²



Gambar 15. Permukaan patahan baja ASSAB 705 dengan rapat arus pemasukan hidrogen 100 mA/cm^2

Gambar 14 tersebut permukaan perpatahan kebanyakan menyerupai perpatahan batas butir (intergranular) sedangkan pada gambar 15 permukaan perpatahannya merupakan perpatahan lintas butir (transgranular) yang dominan.

Byrne[1] menyatakan perpatahan batas butir oleh hidrogen berhubungan erat terhadap komposisi pada batas butir, terutama segregasi dari elemen-elemen pengotor. Untuk studi segregasi batas butir biasa digunakan Auger electron spectroscopy. Latanision dan Opperhauser menyatakan bahwa segregasi dari pengotor (impurities) membantu absorpsi hidrogen pada batas butir karena elemen-elemen ini beraksi sebagai penggabung kembali hidrogen dengan racun hidrogen dan konsekuensinya menghasilkan perpatahan batas butir.

Seperti disebutkan diatas, hidrogen menyebabkan perpatahan batas butir yang dibantu oleh segregasi elemen pengotor pada batas butir. Ini diperkirakan hidrogen terjebak pada batas-batas butir austenit oleh segregasi elemen pengotor sehingga konsentrasi hidrogen akan meningkat pada batas-batas butir austenit dengan bantuan inklusi-inklusi, batas-batas bilah (lath) martensit, karbida-karbida dan dislokasi. Sedangkan perpatahan lintas butir sebagai akibat besarnya rapat arus yang diberikan pada waktu pemasukan hidrogen sehingga menjadikan penjebakan hidrogen pada tempat seperti batas-batas bilah martensit sebelah dalam butir austenit.

Kesimpulan

Dari hasil pembahasan diatas maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- (1). Pada pemasukan hidrogen secara elektrolisa, rapat arus dan lamanya waktu pemasukan hidrogen akan mempengaruhi jumlah hidrogen yang masuk kedalam logam.
- (2). Masuknya hidrogen kedalam baja, akan menurunkan sifat-sifat mekanik baja tersebut. Penurunan sifat-sifat mekanik baja ini dapat terlihat dari : Kurva tegangan-regangan baja yang mengandung hidrogen patah tanpa adanya daerah deformasi plastis dan kekuatan tarik baja turun secara drastis setelah dilakukan pemasukan hidrogen, tergantung pada jumlah hidrogen yang masuk kedalam

baja tersebut.

- (3). Pada baja kekuatan tinggi seperti baja ASSAB 705 yang telah dilakukan perlakuan panas, kosentrasi hidrogen akan menyebabkan perubahan mode perpatahan dari ulet ke getas.
- (4). Pada baja kekuatan tinggi masuknya hidrogen kedalam baja dapat menyebabkan pengretakan.
- (5). Pada pemasukan hidrogen dengan rapat arus rendah (1 mA/cm^2) terjadi perpatahan antar butir (intergranular) sedangkan pada pemasukan hidrogen dengan rapat arus tinggi (100 mA/cm^2) terjadi perpatahan lintas butir (transgranular) yang dominan.

Referensi

1. Shim, I.O. and Byrne, J.B., "A Study of Hydrogen Embrittlement in 4340 Steel", Materials Science and Engineering, A123, 169-180, (1999).
2. John P. Hirth, "Effects of Hydrogen on the Properties of Iron and Steel", Metallurgical Transactions, Volume 11A, (1990).
3. R.A. McCoy and W.W. Gerberich, "Hydrogen Embrittlement Studies of a TRIP Steel", Metallurgical Transaction, Volume 4, (1993).
4. Thompson, A.W. and Bernstein, I.M., "Stress Corrosion Cracking and Hydrogen Embrittlement", Metallurgical Treatises, (1993).
5. Janusz Flis, "Corrosion of Metals and Hydrogen Related Phenomena", PWN-Polish Scientific Publishers, Warszawa, Poland, (1999).
6. Xie and Hirth, "Permeation of Hydrogen, Trapping, and Damage in Spheroidized AISI 1090 Steel", Corrosion, Volume 38, NACE, (1992).
7. Ciszewski, Radomski and Smialowski, "Stress Corrosion Cracking and Hydrogen Embrittlement of Iron Base Alloys", NACE, (1997).
8. "Stress Corrosion Cracking and Hydrogen Embrittlement of Iron Base Alloys", NACE, Research Committee, USA, (1993).
9. Fontana, M.G., "Corrosion Engineering", Third Edition, McGraw-Hill Book Company, New York, (1997).
10. Smialowski, M., "Hydrogen in Steel", Pergamon Press, Oxford, (1992).
11. ASTM., "Annual Standards of ASTM", ASTM Publisher, (1991).
12. Fullenwider, M.A., "Hydrogen Entry and Action in Metals", Pergamon Press, New York, (1993).