

## Pengaruh Elektrogalvanisasi Terhadap Sifat Mekanik Batang Baja Karbon Rendah

Yuli Yetri<sup>1,2</sup>, D. N. Adnyana<sup>1,3</sup>

1) Program Studi Materials Science, Program Pascasarjana Universitas Indonesia

2) Politeknik Teknologi Universitas Andalas, Padang

3) Laboratorium Uji Konstruksi BPP1, Serpong

**Yuli Yetri dan D.N. Adnyana.** Pengaruh Elektrogalvanisasi Terhadap Sifat Mekanik Batang Baja Karbon Rendah. Jurnal Ilmu dan Rekayasa Material. Desember 1999; 1(3): 22-32

### Abstrak

Tujuan utama pelapisan elektrogalvanisasi pada baja adalah untuk meningkatkan ketahanan korosi dan ketahanan aus. Akan tetapi proses pelapisan tersebut dapat menyebabkan atom-atom hidrogen berdifusi ke dalam baja yang bisa mengakibatkan *hydrogen embrittlement* sehingga dapat menggetaskan material. Penggetasan ini mengarah kepada terjadinya kegagalan atau kerusakan yang tertunda (*delayed brittle failure*). Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja karbon rendah untuk U-bolt pada salah satu komponen otomotif. Untuk mengurangi hidrogen yang berdifusi ke dalam material baja karbon rendah akibat proses galvanisasi, maka dalam penelitian ini dilakukan pemanasan (*baking*) pada temperatur 200 °C selama 15 jam, 48 jam dan 65 jam. Pengujian metalografi dilakukan menggunakan mikroskop optik, sedangkan pengujian sifat mekanik yang dilakukan meliputi pengujian kekerasan, tekuk, tarik dan kelelahan. Hasil pengujian struktur mikro memperlihatkan bahwa temperatur baking 200 °C tidak merubah struktur mikro material namun mampu meningkatkan sifat ketangguhan material tersebut. Peningkatan sifat ketangguhan tersebut ditandai oleh penurunan harga kuat tarik atau kekerasan, sementara harga keuletannya meningkat. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh menurunnya kadar hidrogen yang terkandung di dalam material karena terjadi difusi hidrogen ke permukaan akibat pemanasan.

**Kata Kunci:** elektrogalvanisasi, *hydrogen embrittlement*, baja karbon rendah, *baking*, *delayed brittle failure*

### Abstract

The main purpose of electrogalvanizing in steel is to improve corrosion resistance and wear resistance. Unfortunately, electrogalvanizing can cause hydrogen atoms diffuse into steel which results in hydrogen embrittlement. The embrittlement of materials tends to cause failure or delayed brittle failure. Materials used in this research are low carbon steel for U-bolt useful for automotive component. To reduce hydrogen diffused into the low carbon steel after electrogalvanizing, the materials were baked at temperature 200 °C at various durations, i.e. 15, 48 and 65 hours respectively. Metallographic examination was carried out using optical microscope and mechanical properties measurements including hardness, bending, tensile and fatigue tests. The results of microstructural examination show that the baking temperature at 200 °C does not change the microstructure but it increases the toughness of the materials. This increase in toughness was indicated by the decrease of its tensile strength

or hardness, while its elongation increases. This might be caused by decreasing of hydrogen content in the materials as a result of diffusion process during the baking.

Key Words: electrogalvanizing, hydrogen embrittlement, low carbon steel, baking, delayed brittle failure.

## Pendahuluan

Dengan makin berkembangnya industri otomotif di Indonesia, pihak produsen semakin dituntut agar komponen-komponen otomotif tersebut dibuat dengan kualitas yang semakin baik, di antaranya ketahanan dan keuletan yang tinggi serta ketahanan terhadap korosi. Untuk itulah dilakukan berbagai upaya agar kriteria yang diinginkan terpenuhi. Salah satunya adalah dengan melakukan elektrogalvanisasi pada permukaan komponen untuk menahan laju korosi serta untuk menutupi cacat pada permukaan seperti retak.

Salah satu tujuan pelapisan adalah untuk meningkatkan ketahanan korosi dan ketahanan aus seperti yang dilakukan pada komponen otomotif. Semua jenis metal pelindung sebagai pelapis harus mampu mengadakan perubahan pada komposisi permukaan komponen-komponen metal substrat. Perubahan-perubahan ini dapat dilakukan dengan penambahan suatu bahan lain untuk menimbulkan penghalang antara bahan dengan medium yang korosif. Akan tetapi proses pelapisan tersebut dapat menyebabkan atom-atom hidrogen berdifusi ke dalam baja yang dapat berfungsi sebagai *hydrogen embrittlement*, sehingga dapat menggetaskan material.

Pelapisan suatu logam dengan logam lain seperti baja dengan seng harus terlebih dahulu diperhatikan jenis-jenis kedua material tersebut. Seng (Zn) termasuk jenis metal pelapis yang digunakan untuk tujuan proteksi korosi, yang dapat dilakukan dengan beberapa metode yaitu <sup>1</sup>:

1. Metode celup panas (*hot dip galvanizing*).

2. Metode lapis listrik (*electroplating/electrogalvanizing*).

3. Metode penyemprotan logam cair (*metal spraying*).

4. Mechanical plating/cladding

5. Painting with zinc-bearing paints.

Kerusakan material berupa retak dapat disebabkan antara lain oleh lingkungan di mana material tersebut berada, faktor material itu sendiri (komposisi kimia), beban yang diterima material dan faktor waktu. Retak yang disebabkan oleh lingkungannya merupakan kasus yang sering terjadi di industri, khususnya untuk baja paduan kekuatan tinggi. Secara spesifik kerusakan logam yang disebabkan oleh lingkungannya meliputi <sup>2</sup>:

1. Retak korosi tegang (*stress corrosion cracking*).

2. Penggetasan oleh unsur logam (*metal induced embrittlement*).

3. *Fatigue* korosi (*corrosion fatigue*).

4. Penggetasan oleh hidrogen (*hydrogen embrittlement*).

Dari beberapa penyebab kerusakan yang telah disebutkan di atas, kecenderungan terkena penggetasan oleh hidrogen selama elektroplating akan meningkat jika kekuatan material meningkat. Hubungan ini hanya diamati untuk baja kekuatan tinggi, karena baja dengan kekuatan luluh di bawah 700 MPa biasanya tidak dipengaruhi oleh *hydrogen embrittlement* <sup>3</sup>.

Untuk memperoleh sifat-sifat yang diinginkan tersebut, dilakukan perlakuan panas pada benda uji setelah digalvanis. Dalam pemilihan bahan untuk digalvanis, ada beberapa faktor yang sangat berpengaruh terhadap tegangan yang bekerja (*working stress*) antara lain sifat mekanik material, efek korosi, komposisi kimia, perlakuan mekanik dan

pertimbangan terhadap kegagalan galvanis.

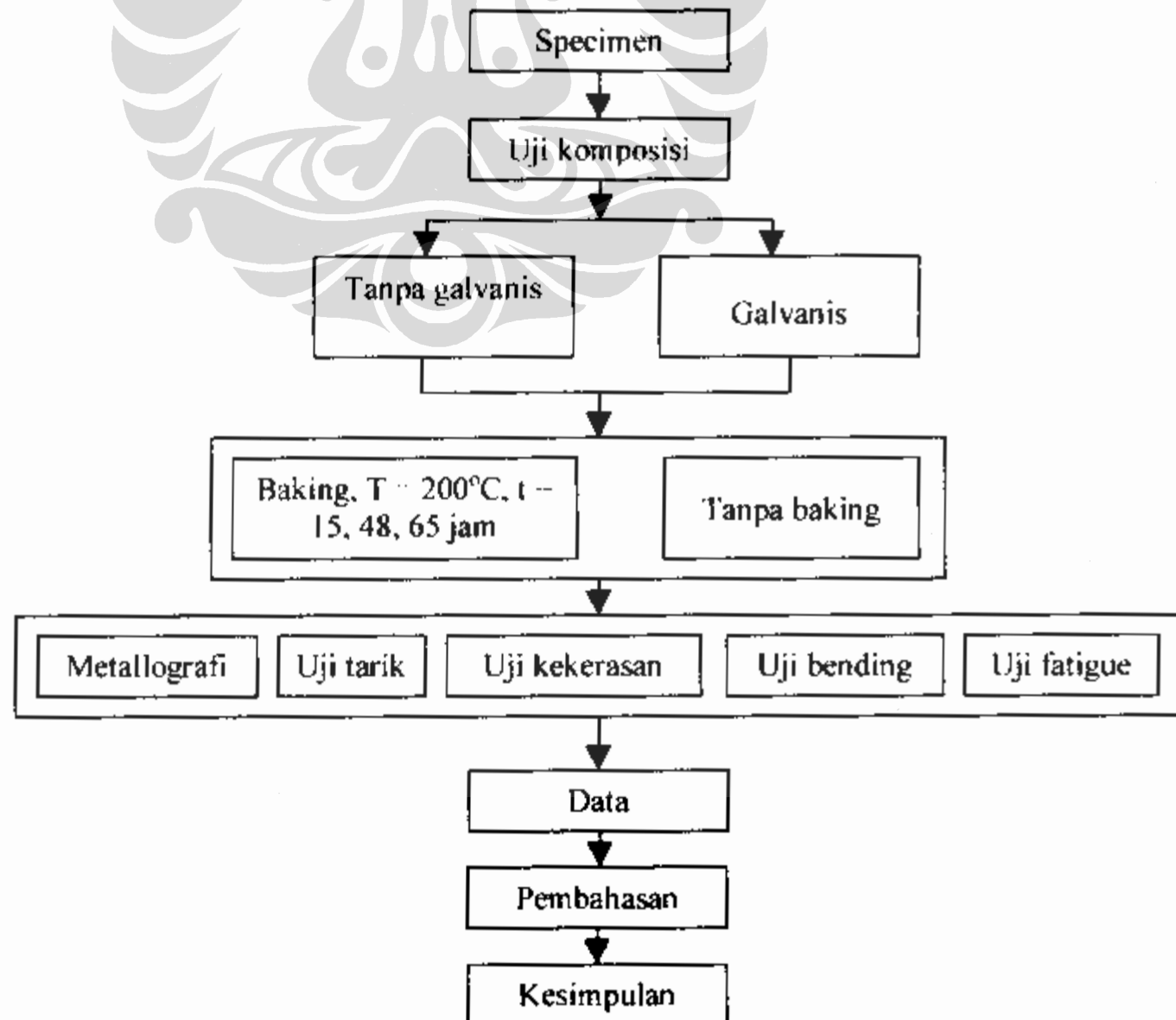
Berdasarkan faktor-faktor di atas dilakukan penelitian tentang pengaruh elektrogalvanisasi terhadap sifat mekanik batang baja karbon rendah, yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh elektrogalvanisasi terhadap struktur mikronya serta untuk menganalisis kekuatan, keuletan dan ketangguhan material tersebut.

### Prosedur Percobaan

Dalam penelitian ini digunakan benda uji batang baja karbon rendah dengan komposisi kimia yang diberikan oleh standar JIS Hand Book 1993 Ferrous Material Metallurgy seperti terlihat dalam Tabel 1.

Langkah awal dilakukan pengujian komposisi kimia terhadap benda uji,

kemudian dilakukan proses persiapan untuk mendapatkan bentuk spesimen yang sesuai dengan standar JIS Hand Book 1993 Ferrous Material Metallurgy. Selanjutnya spesimen yang sudah jadi dibagi dua bagian, satu bagian dilakukan proses galvanis dalam bak elektroplating yang menggunakan *conventional cyanide* yang ditambahkan *brightener* pada temperatur 30 – 50 °C selama 15 menit dan sebagian lagi tanpa galvanis. Setelah itu dilakukan *baking* pada temperatur 200 °C selama 15 jam, 48 jam dan 65 jam. Sebagai pembanding digunakan spesimen tanpa *baking*. Langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian metalografi, uji tarik, kekerasan, *bending* dan *fatigue* terhadap kedua macam spesimen tersebut. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat dalam diagram alir yang diberikan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir proses penelitian

Tabel 1. Komposisi kimia spesimen uji (dalam % berat) <sup>4</sup>

Grade	Designation	C	Si	Mn	P	S
12	STKM 12 C	0,20 max	0,35 max	0,60 max	0.04 max	0,04 max

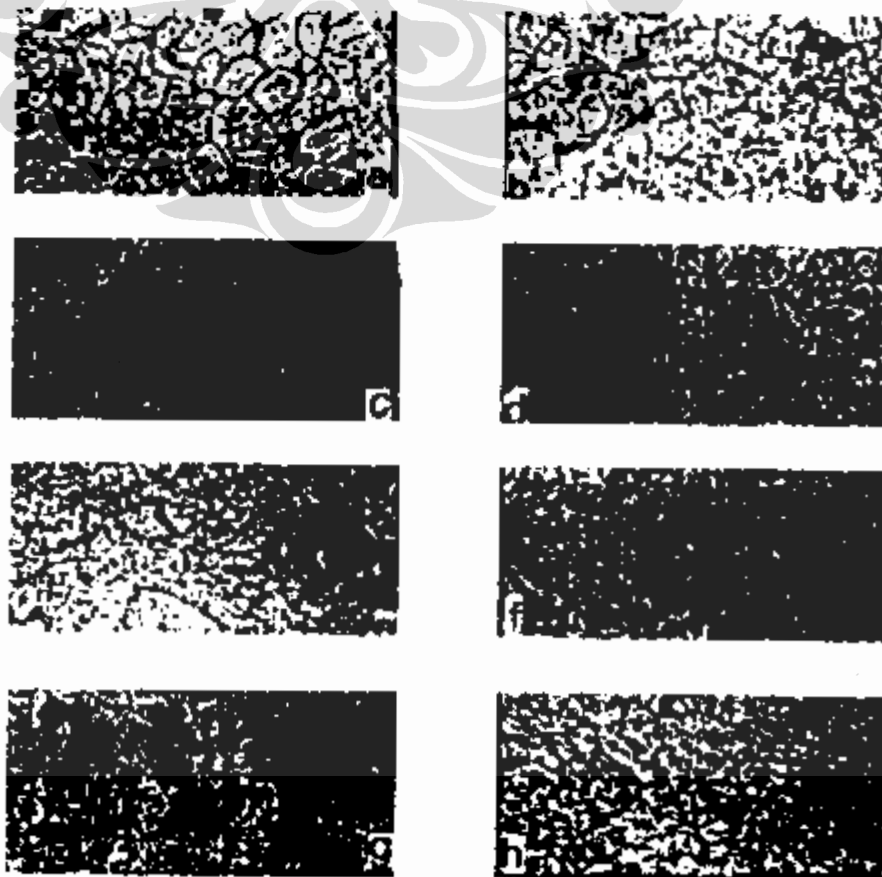
Tabel 2. Hasil pengujian komposisi dengan spektrometer

Unsur	Persentase	Unsur	Persentase	Unsur	Persentase
C	0,09	Ni	0,089	Co	0,007
Si	0,01	Cr	0,047	Ce	0,005
Mn	0,58	Mo	0,070	Nb	0,003
P	0,0071	Cu	0,209	Fe	98,91
S	0,025	Sn	0,023	W	0,000

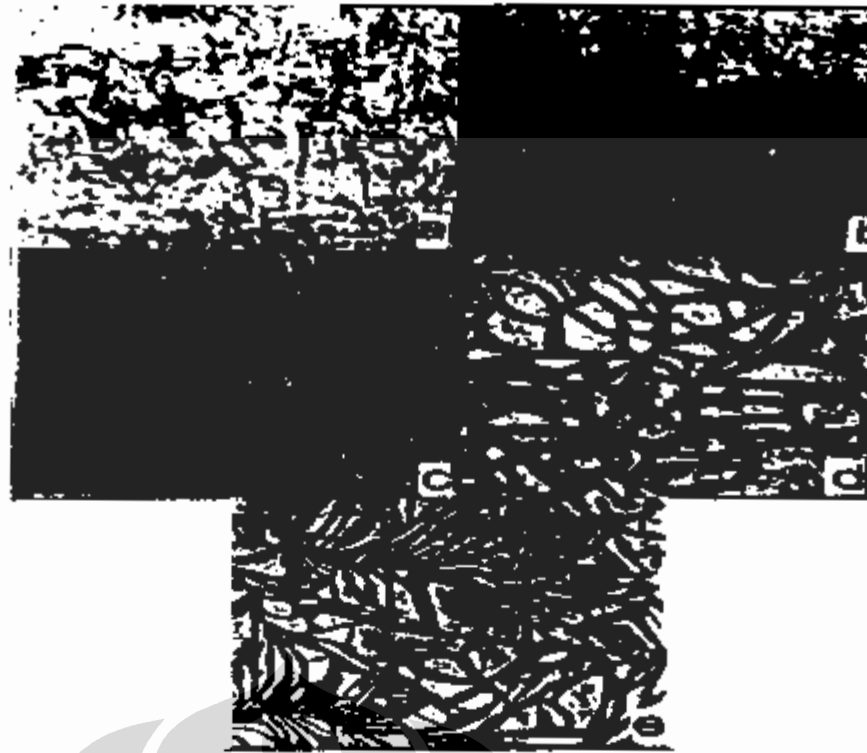
### Hasil dan Diskusi

Data hasil pengujian komposisi kimia dengan spektrometer disajikan pada Tabel 2. Pengamatan struktur mikro untuk spesimen yang digalvanis dan tanpa galvanis tidak memberikan perbedaan yang berarti dengan temperatur pemanasan konstan pada 200 °C dengan lama pemanasan (baking) bervariasi yaitu

15 jam, 48 jam dan 65 jam. Hasil foto struktur mikro memperlihatkan mikrostruktur ferit yang berwarna putih dan struktur mikro perlit yang berwarna gelap. Ferit mempunyai sifat yang lebih lunak bila dibandingkan dengan perlit, hal ini akan menurunkan kuat tarik dari baja seperti diperlihatkan pada Gambar 2, sedangkan struktur mikro lapisan galvanis bisa dilihat pada Gambar 3.



Gambar 2. Struktur mikro benda uji dengan perbesaran 500 x: (a) dan (b) tanpa baking, (c) dan (d) baking selama 15 jam, (e) dan (f) baking selama 48 jam, (g) dan (h) baking selama 65 jam. Baking dilakukan pada temperatur 200 °C.



Gambar 3. Struktur mikro lapisan galvanis, (a) Permukaan luar baja tanpa galvanis, (b) Lapisan galvanis tanpa pemanasan, (c) Lapisan galvanis dipanaskan 200°C selama 15 jam, (d) Lapisan galvanis dipanaskan 200°C selama 48 jam, (e) Lapisan galvanis dipanaskan 200°C selama 65 jam.

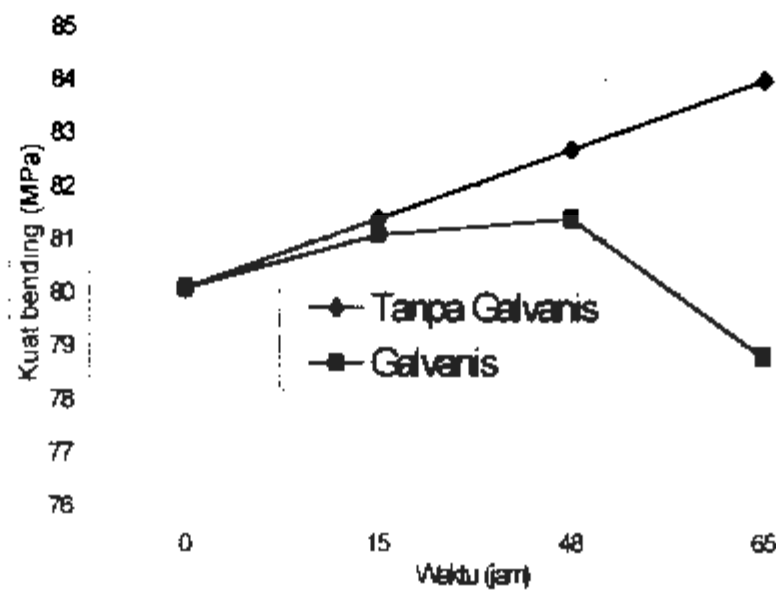
Untuk pengujian beberapa sifat mekanik seperti bending, tarik, kekerasan dan fatigue, diperoleh hasil yang memperlihatkan perbaikan sifat-sifat mekanik setelah dilakukan baking. Tabel 3 dan Gambar 4 memperlihatkan hasil pengujian bending terhadap benda uji.

Gambar 4 memperlihatkan bahwa kuat bending berbanding lurus dengan waktu baking, yang berarti peningkatan waktu baking akan meningkatkan kuat bending yang akan menambah keuletan benda untuk dibentuk. Kecuali untuk baja yang digalvanis untuk pemanasan 65 jam mulai terjadi penurunan kuat bending. Hal ini diduga disebabkan oleh hidrogen

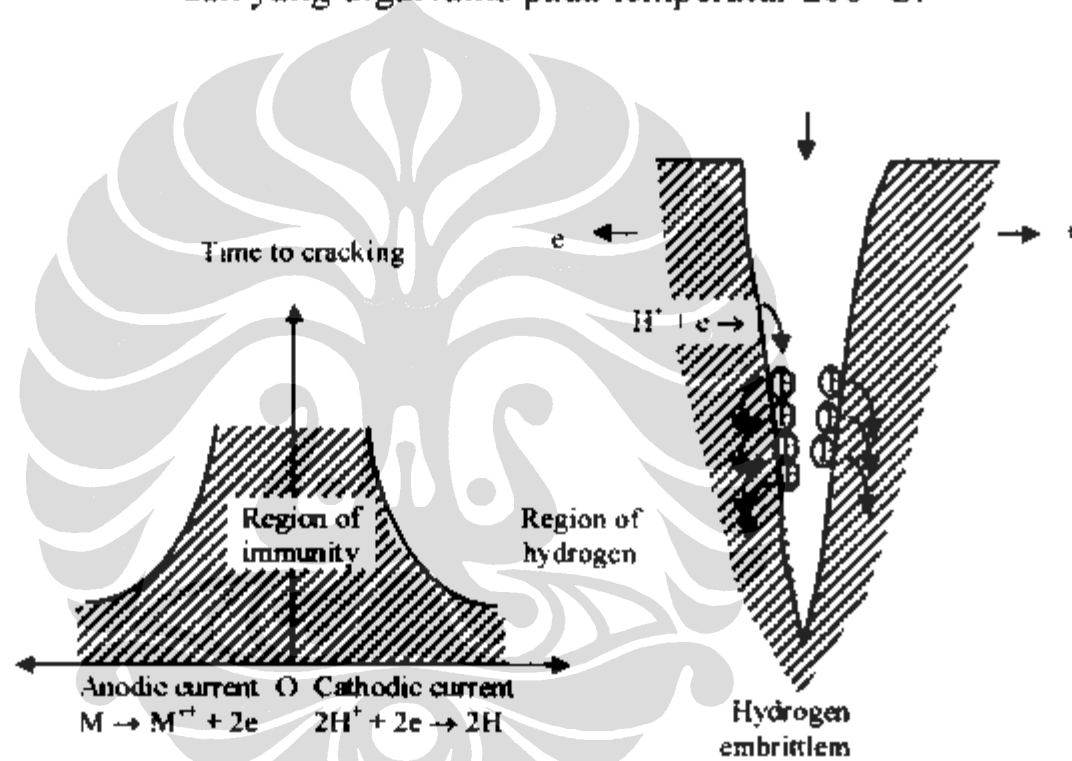
internal yang terdapat di dalam baja tidak mampu keluar semuanya sampai temperatur baking 200 °C. Diperkirakan terjadi keretakan setelah penekukan, karena hidrogen internal yang masih tertinggal akan berdifusi sehingga menghasilkan perpatahan yang tertunda (*delayed brittle fracture*). Adanya hidrogen di dalam baja akan mengakibatkan keuletan menjadi berkurang karena atom-atom hidrogen yang berdifusi ke dalam baja dapat berfungsi sebagai *hydrogen embrittlement*, sehingga dapat menggetaskan material dengan mekanisme seperti Gambar 5.

Tabel 3. Hasil uji bending

No	Temperatur pemanasan (°C)	Waktu Pemanasan (jam)	Kuat bending (Mpa)	
			Tanpa galvanis	Galvanis
1	Tanpa pemanasan	0	80,1	80,1
2	200°C	15	81,4	81,1
3	200°C	48	82,7	81,4
4	200°C	65	84,0	78,8



Gambar 4. Grafik kuat bending vs lama baking baja tanpa galvanis dan yang digalvanis pada temperatur 200 °C.



Gambar 5. Mekanisme Hydrogen Embrittlement Akibat Proses Elektroplating<sup>3</sup>

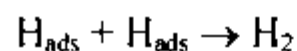
Evolusi elektrolitik hidrogen dalam elektrolit asam terdiri dari 2 tahap<sup>3</sup>, yaitu:

1. Discharge proton terhidrasi (ion hidronium) dan adsorpsi atom hidrogen netral:

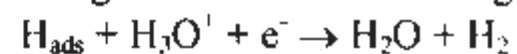


2. Desorpsi (penguraian atom hidrogen dari katoda dan menghasilkan molekul hidrogen). Di sini terdapat 2 mekanisme alternatif yang mungkin terjadi:

□ Kombinasi atom hidrogen



□ Discharge ion hidronium dan menghasilkan molekul hidrogen:



Gambar 5 menunjukkan bahwa  $H_{ads}$  yang terbentuk dari evolusi elektrolitik hidrogen selama proses elektroplating dapat berdifusi ke dalam kisi-kisi kristal yang kemudian dapat menggetaskannya. Peningkatan arus katodik selama proses elektroplating dapat mempercepat terjadinya penggetasan jika material diberi tegangan. Lebih lanjut unsur-unsur dari golongan V dan VI pada tabel periodik bersifat sebagai senyawa korosif atau katalis negatif dalam reaksi

rekombinasi hidrogen, di antaranya fosfor, arsen, antimon, sulfur, selenium dan telurium, di samping unsur-unsur Bi, Hg, Pb, Sn, dan ion  $CN^-$  mempunyai efek yang serupa. Apabila salah satu unsur tersebut bereaksi dengan hidrogen, misalnya sulfur dapat membentuk  $H_2S$  yang merupakan senyawa korosif. Sebaliknya pada *hot dip galvanizing*, hal yang demikian tidak terjadi karena prosesnya berlangsung pada suhu yang tinggi.

Sedangkan kekerasan/kegetasan di dalam baja bersifat reversibel yang berarti keuletan dapat dikembalikan atau dipulihkan dengan proses baking. Data hasil pengujian kekerasan pada Tabel 4 dan Gambar 6 memperlihatkan bahwa makin lama waktu baking (untuk temperatur yang sama), kekerasan bahan akan menurun. Hal ini memberikan arti bahwa kerapuhan bahan berkurang yang berarti pula bahwa kerusakan bahan (akibat adanya hidrogen internal) akan

terjadi dalam periode waktu yang lebih lama<sup>6</sup>.

Di sini temperatur baking dibatasi pada  $200^\circ C$  karena pada temperatur yang lebih tinggi dapat merusak lapisan seng yang terbentuk. Penurunan nilai kekerasan bukan disebabkan oleh perubahan struktur mikro, karena temperatur baking yang digunakan dalam penelitian ini masih di bawah temperatur transformasi sehingga tidak akan terjadi perubahan struktur mikro.

Berdasarkan hasil pengujian struktur mikro, benda uji mengandung ferit dan perlit, di mana ferit lebih lunak bila dibandingkan dengan perlit. Hal ini dapat menurunkan kuat tarik baja. Hasil uji tarik memperlihatkan bahwa kekuatan tarik dan kekuatan luluh benda uji menurun dengan meningkatnya waktu baking, sedangkan regangan meningkat dengan meningkatnya waktu baking seperti yang diperlihatkan pada Tabel 5 dan Gambar 7, Gambar 8 dan Gambar 9.

Tabel 4. Hasil pengujian kekerasan

Benda uji	Baking	Tanpa Galvanis HV	Galvanis HV	Lapisan Galvanis HV
I	Tanpa baking	227	237,3	77,7
II	15 jam $200^\circ C$	225	229,3	72
III	48 jam $200^\circ C$	221,3	227	57
IV	65 jam $200^\circ C$	216,3	217,6	55

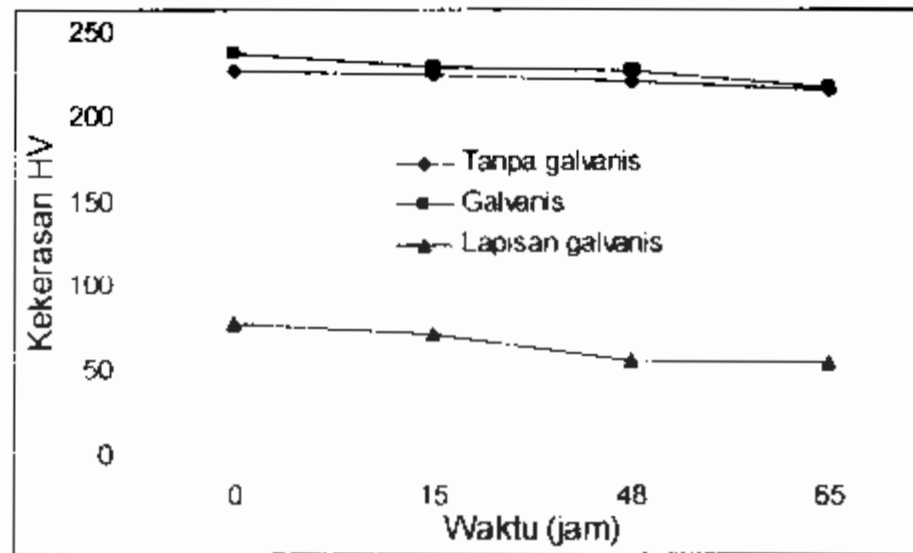
Tabel 5. Hasil uji tarik

No	Temperatur pemanasan	Waktu (jam)	Kuat luluh (Mpa)		Kuat tarik (Mpa)		Regangan %	
			TG	G	TG	G	TG	G
1	Tanpa pemanasan	0	674,4	666,2	690,5	682,6	14,9	14,30
2	$200^\circ C$	15	665,5	655,6	686,7	681,0	15,9	15,00
3	$200^\circ C$	48	644,7	645,6	676,4	678,6	16,0	15,10
4	$200^\circ C$	65	641,5	637,4	675,3	674,4	16,7	15,50

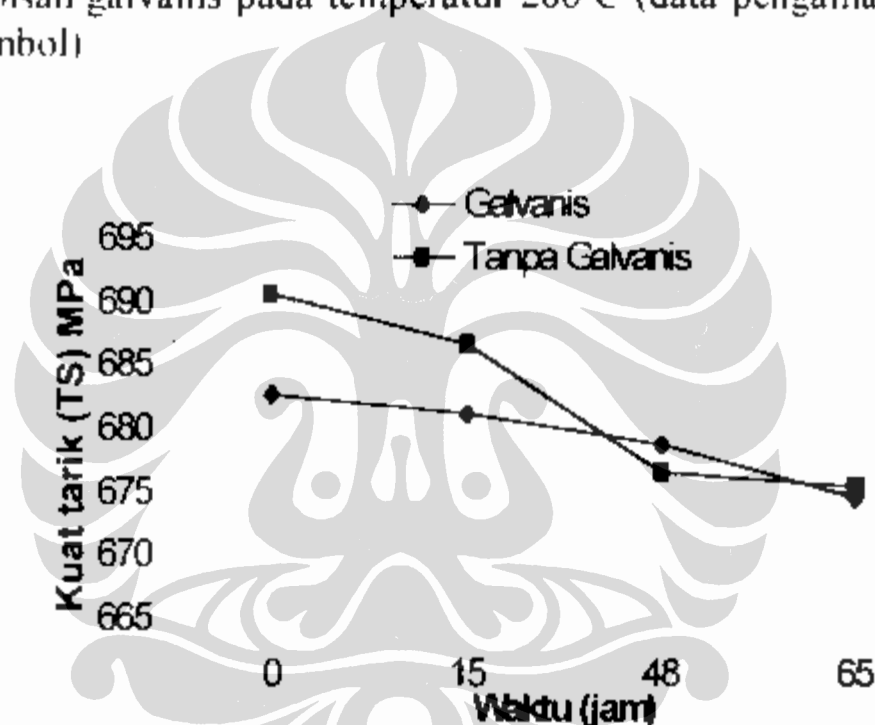
Keterangan:

G = Galvanis

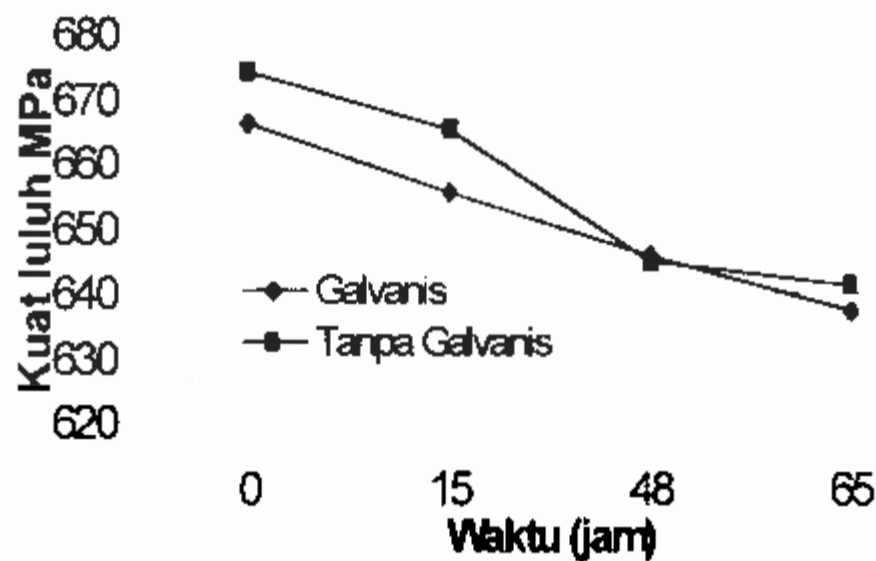
TG = Tanpa galvanis



Gambar 6. Grafik kekerasan vs lama baking baja tanpa galvanis, yang digalvanis dan lapisan galvanis pada temperatur 200°C (data pengamatan ditunjukkan dengan simbol)

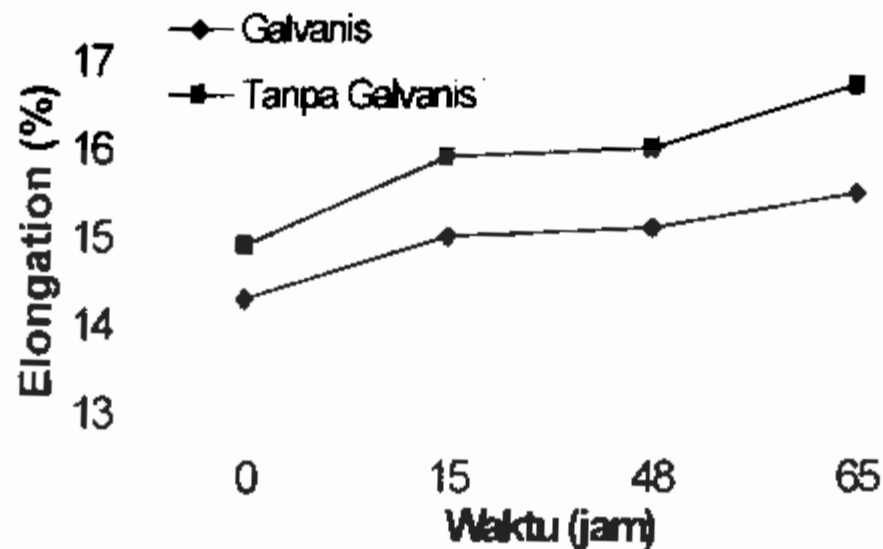


Gambar 7. Grafik kuat tarik vs lama baking baja tanpa galvanis dan yang digalvanis pada temperatur 200°C (data pengamatan ditunjukkan dengan simbol)

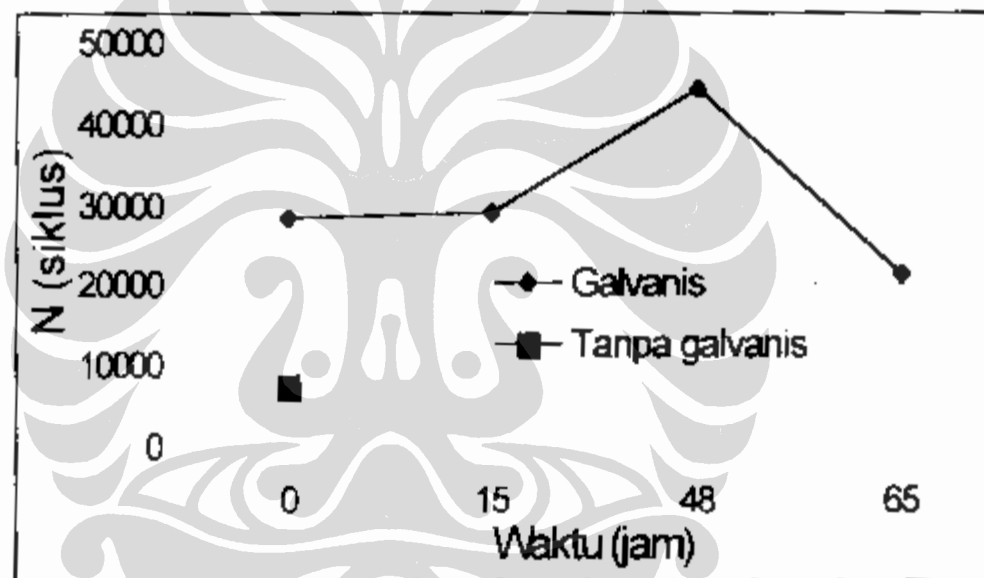


Gambar 8. Grafik kuat luluh vs lama baking baja tanpa galvanis dan yang digalvanis pada temperatur 200°C (data pengamatan ditunjukkan dengan simbol)





Gambar 9. Grafik elongation vs lama baking baja tanpa galvanis dan yang digalvanis pada temperatur 200°C (data pengamatan ditunjukkan dengan simbol)



Gambar 10. Grafik jumlah siklus vs lama baking baja yang digalvanis dan tanpa galvanis pada temperatur 200°C (data pengamatan ditunjukkan dengan simbol)

Dari hasil pengujian tarik diperoleh kekuatan tarik dan kekuatan luluh benda uji menurun dengan meningkatnya waktu baking, sedangkan regangan meningkat seiring dengan meningkatnya waktu baking. Hal ini menunjukkan bahwa dengan dilakukannya baking benda uji menjadi lebih lunak dan keuletannya akan meningkat. Hal ini dimungkinkan karena semakin lama pemanasan, semakin banyak hidrogen yang berdifusi keluar permukaan.

Untuk menunjang pengujian sifat mekanik yang sudah dibahas di atas, dilakukan pengujian kelelahan (fatigue), yang datanya disajikan dalam Tabel 6.

Data tersebut memperlihatkan bahwa semua benda uji yang mengalami proses baking, putus dalam waktu yang relatif singkat. Hal ini menunjukkan bahwa sejumlah hidrogen yang berasal dari proses elektroplating yang terperangkap di dalam material dapat menggetaskan kisi-kisi kristal. Sesuai dengan literatur penunjang, banyaknya hidrogen yang diperlukan untuk dapat terjadinya hidrogen embrittlement adalah 1 – 2 ppm<sup>5</sup>. Dengan dilakukannya proses baking setelah elektroplating diharapkan hidrogen yang terperangkap di dalam bahan dapat keluar.

Tabel 6. Hasil pengujian kelelahan (fatigue)

Benda uji	T (°C)	t (jam) pemanasan	d (mm)	$\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	Mb (Nm)	N	t (menit) perpatahan
Tanpa plating	0	0	5,87	250	10,01	7800	12,67
Plating	0	0	5,93	250	10,23	28633,3	8
Plating	200	15	6,01	250	10,65	29000	19
Plating	200	48	6,02	250	10,70	44366,7	26
Plating	200	65	5,98	250	10,47	21466,7	32,67

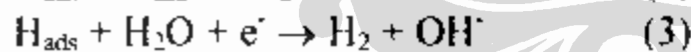
Keterangan:

T = temperatur  
 $\sigma$  = tegangan

t = waktu  
 Mb = moment torsi

d = diameter  
 N = jumlah siklus

Hasil pengujian kelelahan memperlihatkan bahwa semakin lama waktu baking (untuk temperatur yang sama) semakin lama material putus/rusak. Hal ini disebabkan karena hidrogen yang masuk ketika proses elektroplating berdifusi keluar material selama proses baking. Mekanisme masuknya atom-atom hidrogen dapat digambarkan dengan reaksi kimia berikut ini:



Sumber hidrogen pada katoda adalah berasal dari molekul air. Selama proses elektroplating akan terbentuk  $H_{ads}$  pada katoda (reaksi 1), di mana  $H_{ads}$  tersebut mungkin akan berkombinasi menjadi  $H_2$  (reaksi 2) atau bereaksi dengan  $H_2O$  menjadi  $H_{ads}$ .  $H_{ads}$  inilah yang dapat berdifusi dan terperangkap di dalam material yang kemudian dapat menggetaskan kisi-kisi kristal jika material diberi beban atau tegangan.

Ternyata hasil pengujian kelelahan memperlihatkan bahwa semakin lama proses baking semakin lama waktu perpatahannya untuk temperatur baking yang sama. Hal ini disebabkan karena hidrogen yang masuk pada waktu proses elektroplating akan keluar pada saat baking. Di samping itu dengan meningkatnya waktu baking, jumlah siklus kelelahan juga semakin meningkat,

tetapi pada saat waktu baking mencapai 65 jam, jumlah siklus kelelahan menurun. Hal ini mungkin disebabkan oleh karena terjadinya peningkatan kekasaran permukaan lapisan galvanis sesuai dengan yang diperlihatkan pada Gambar 3. Grafik hasil pengujian seperti diperlihatkan pada Gambar 10.

### Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan analisis pengaruh elektrogalvanisasi terhadap sifat mekanik batang baja karbon rendah dapat diambil kesimpulan bahwa elektrogalvanisasi tidak mempengaruhi struktur mikro baja setelah dipanaskan (*baking*) pada temperatur 200 °C, tetapi dapat meningkatkan sifat-sifat mekaniknya. Terjadinya penggetasan pada material setelah dielektrogalvanisasi disebabkan oleh adanya hidrogen internal yang terkandung dalam material ditambah dengan masuknya hidrogen ke dalam material adalah secara difusi melalui bak elektroplating yang menggunakan *conventional cyanide* yang ditambahkan *brightener*. Penggetasan oleh hidrogen dapat dikurangi dengan melakukan pemanasan pada temperatur tertentu. Kemudian pemanasan dapat menurunkan kekerasan dan kuat tarik pada temperatur yang sama. Semakin lama waktu baking,

semakin banyak hidrogen yang berdifusi keluar permukaan yang ditandai dengan meningkatnya sifat mekanik, seperti menurunnya kekerasan dan kuat tarik sehingga keuletan (*ductility*) material akan meningkat, akibatnya kerusakan/perpatahan material akibat adanya hidrogen internal akan terjadi dalam periode waktu yang lebih lama.

### Ucapan Terima kasih

Penulis sangat berterima kasih kepada Ir. Naek Pakpahan, M.Si. dari PT. German Motor atas kemurahannya dalam menyediakan sampel, Ir. Mirna, M.Si., Zainal dan Nurdin dari Laboratorium Metalurgi UI dan Sudrajat dari LUK BPPT Serpong atas bantuannya dalam pengukuran sifat-sifat mekanik dari sampel.

### Daftar Pustaka

1. Metal Hand Book, ASM, pp. 111, 1208 – 1948.
2. Suherman Wahid., *Pengetahuan Bahan*, ITS Surabaya, 1987.
3. M.G. Fontana., *Corrosion Engineering*, 3<sup>rd</sup> edition, McGraw-Hill Book Company, 1986.
4. JIS Hand Book., *Ferrous and Materials Metallurgy*, 1985, 1993.
5. C.A. Zapffe and C.E. Sims., *Hydrogen Embrittlement, Internal Stress, and Defects in Steel*, Trans. AIME 145, 1941: 225 – 259.
6. Anonymous., *Hydrogen Movement in Steel. Entry, Difusion, and Elimination*, Defence Metals Information Center, Battelle Memorial Institute, Columbus, Ohio 43201, June 30, 1965.

