

PENGARUH PENYINARAN α PADA STRUKTUR MIKRO DAN BENTUK PATAHAN DARI Fe-15Cr-20Ni

Budi Briyatmoko
Pusat Elemen Bakar Nuklir - Badan Tenaga Atom Nasional

ABSTRAK

PENGARUH PENYINARAN α PADA STRUKTUR DAN BENTUK PATAHAN DARI Fe-15Cr-20Ni. Struktur mikro dari percontohan dengan perlakuan panas (S.A.) dan pengerjaan dingin (C.W.) dari Fe-15Cr-20Ni yang telah disinari dengan siklotron pada suhu ruang telah diperiksa dengan menggunakan TEM, dan dibandingkan dengan data dari tegangan luluh. Dalam hal ini terbentuk adanya cacat titik (titik-titik hitam) dengan diameter sekitar 1 nm. Kerapatan cacat ini berkurang dengan naiknya suhu pemanasan pasca penyinaran. Pada suhu 923 K, interstitial loop terbentuk oleh adanya penyusunan dari cacat titik. Kerapatan loop dan tegangan luluh keduanya berkurang dengan bertambahnya suhu pemanasan pasca penyinaran. Pada 623 K, kerapatan loop dan tegangan luluh dari percontohan C.W. lebih besar daripada pada suhu 293 K. Karakteristik khusus ini mungkin disebabkan oleh pertumbuhan cacat yang ada pada dislokasi yang dihasilkan oleh pengerjaan dingin. Naiknya tegangan luluh disebabkan karena adanya cacat titik. Kekuatan halang, α , dari cacat titik adalah sekitar 0,1. Perubahan bentuk patahan, karena pengaruh radiasi α , dari transgranular ke intergranular untuk percontohan S.A. terjadi pada suhu sekitar 773 - 923 K. Sedangkan untuk percontohan C.W., bentuk patahannya tetap transgranular.

ABSTRACT

IRRADIATION EFFECT α ON MICROSTRUCTURE AND FRACTURE MODE OF Fe-15Cr-20Ni. The microstructure of solution annealed and cold worked specimen of Fe-15Cr-20Ni irradiated by Cyclotron at room temperature was observed by TEM and compare with yield strength data. In this case, point defects (black dots) were formed with diameter about 1 nm. The density of black dots were decreased with increasing post irradiation annealed temperature. At 923 K, interstitial loop were formed by rearrangement of point defects. Both the loop density and yield stress were decreased with increasing post irradiation annealed temperature. At 623 K, the loop density and yield stress of cold worked specimen were higher than those value at 293 K. This special behavior might be caused by defects growth on the dislocation resulted from cold worked. The increasing of yield stress value was caused by the present of point defects. The barrier strength, α , of the point defect was about 0.1. The change of fracture mode, due to radiation effect, from transgranular to intergranular of solution annealed specimen was occurred at temperature about 773 - 923 K. On the other hand, fracture mode of cold worked specimen was always transgranular.

PENDAHULUAN

Kekuatan logam sangat tergantung pada perubahan struktur mikronya. Kekerasan akibat penyinaran terjadi karena terbentuknya dislokasi, Frank loop, void, pengendapan dan cacat lain yang terbentuk selama disinari.[1] Parameter yang mempengaruhi besar kecilnya kekerasan antara lain ukuran (diameter) dan kerapatan masing-masing cacat tersebut. Besar kecilnya cacat sangat tergantung pada suhu penyinaran. Pada umumnya makin tinggi suhu makin besar cacat yang terjadi. Selain suhu, macam partikel yang digunakan untuk penyinaran juga mempengaruhi banyak sedikitnya cacat.

Dalam penelitian ini digunakan partikel α untuk menembak percontohan Fe-15Cr-20Ni pada suhu kamar. Percontohan tersebut adalah salah satu model dari logam paduan baja tahan karat SS316. Seperti diketahui baja ini merupakan bahan struktur yang akan digunakan dalam reaktor cepat FBR.

Penelitian ini dimaksudkan untuk mempelajari perubahan struktur mikro pada Fe-15Cr-20Ni yang disinari dengan α , dan untuk melihat pengaruhnya terhadap tegangan luluh bahan material tersebut, selain itu juga untuk melihat perubahan bentuk patahan yang terjadi.

EKSPERIMEN

Komposisi bahan

Komposisi bahan Fe-15Cr-20Ni yang dipakai dalam penelitian ini tercantum dalam Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi bahan Fe-15Cr-20Ni (% berat)

Fe	Cr	Ni	C	Si	Mn
bal.	15,01	20,17	0,0061	≤ 0,005	≤ 0,001
P	S	Al	N	O	Co
0,0009	0,002	0,002	0,0017	0,0087	0,003
Cu					
≤ 0,001					

Percontohan

Bentuk dan ukuran percontohan

Percontohan yang dipakai untuk uji tarik berbentuk plat tipis dengan ukuran panjang 5 mm, lebar 1,2 mm dan tebal 0,11 mm. Untuk melihat struktur mikro dengan menggunakan Transmission Electron Microscope (TEM), dipakai percontohan yang berbentuk piringan dengan ukuran diameter 3 mm dan tebal 0,11 mm.

Jenis percontohan

Jenis percontohan yang dipakai ada dua macam yaitu percontohan S.A. (Solution Annealed), yaitu percontohan yang dikenai pengerjaan panas dan percontohan C.W. (Cold Worked), yaitu percontohan yang dikenai pengerjaan dingin. Hasil kedua percontohan ini mempunyai ukuran butir yang sama yaitu sekitar 20 µm.

Eksperimen

Partikel α dengan energi 36 MeV ditembakkan ke dalam percontohan dengan menggunakan siklotron yang dilengkapi penurun tenaga jenis *Rotating Degradier* pada suhu ruang sehingga diperoleh 100 appm He secara merata. Kemudian dilakukan pemanasan pasca penyinaran pada suhu 623, 773 dan 923 K pada kondisi hampa selama 30 menit dan hasilnya dilakukan uji tarik pada suhu ruang dengan menggunakan mesin jenis Instron. Bentuk patahan hasil uji tarik dilakukan pemeriksaan dengan menggunakan Scanning Electron Microscope (SEM). Sedangkan struktur mikronya diperiksa dengan menggunakan Transmission Electron Microscope (TEM).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perubahan struktur mikro akibat suhu pemanasan pasca penyinaran.

Pada Gambar 1 ditunjukkan foto TEM pada percontohan S.A. yang telah disinari dan kemudian dilakukan pemanasan pasca penyinaran pada suhu 623, 773 dan 923 K. Sebelum dilakukan pemanasan pasca penyinaran, seperti ditunjukkan dalam Gambar 1a, tampak adanya titik-titik hitam yang merupakan cacat hasil penyinaran. Cacat kecil dengan ukuran sekitar 1 nm dengan kerapatan sekitar $9 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ ini menjadi bertambah besar setelah dilakukan pemanasan pasca penyinaran. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 1b, 1c, dan 1d masing-masing hasil pemanasan pasca penyinaran pada suhu 623, 773 dan 923 K. Tetapi jumlah cacat atau kerapatannya menjadi berkurang dengan bertambahnya suhu pemanasan pasca penyinaran tersebut (Tabel 2).

Tabel 2. Data hasil perhitungan α

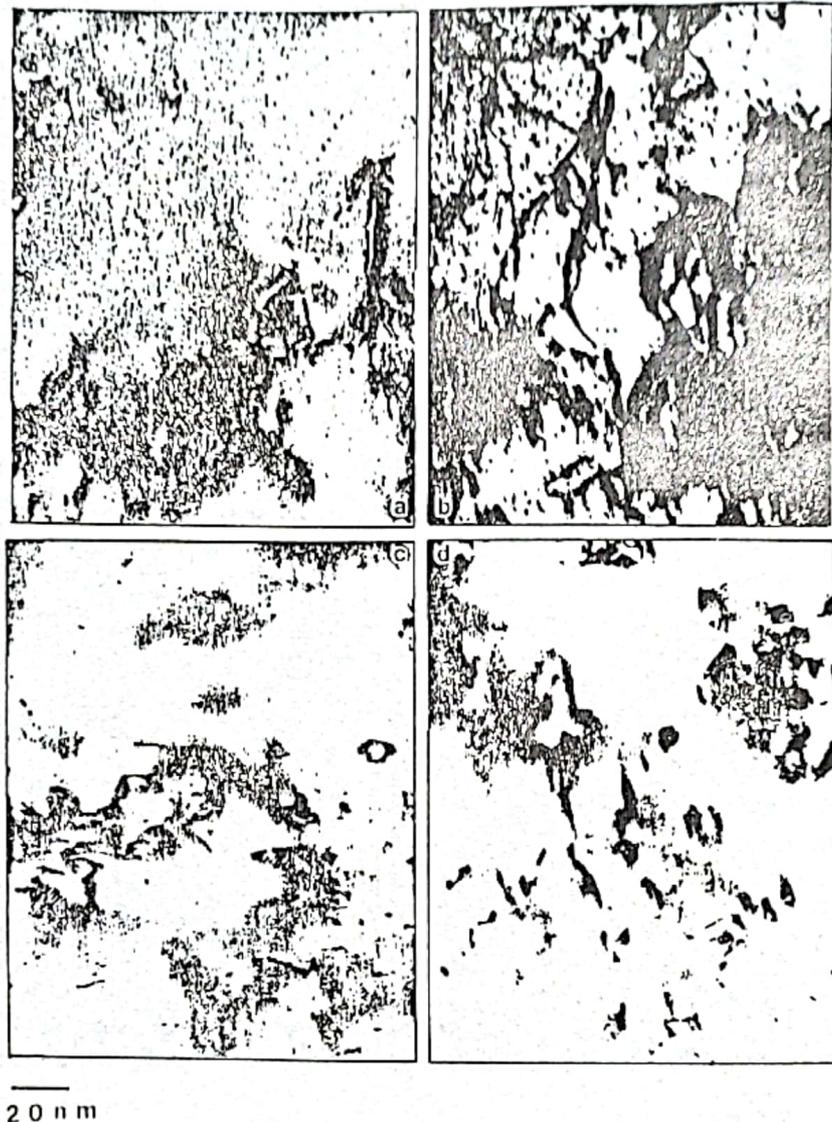
Suhu pemanasan Pasca penyinaran K	Percontohan S. A.					Percontohan C. W.				
	$\Delta\sigma_{0,2}$ Mpa	N/cm ³	d nm	$\sqrt{N} \cdot d$ cm	α	$\Delta\sigma_{0,2}$ Mpa	N/cm ³	d nm	$\sqrt{N} \cdot d$ cm	α
196	147,5	$9,1 \times 10^{17}$	1,162	320000	0,12	64,4	$2,0 \times 10^{17}$	1,874	200000	0,09
623	135,8	$5,4 \times 10^{17}$	2,158	340000	0,11	113,4	$3,7 \times 10^{17}$	2,694	320000	0,10
773	58,0	$3,2 \times 10^{17}$	2,299	270000	0,06	-26,9	$2,1 \times 10^{17}$	2,922	250000	
923	25,9	$2,0 \times 10^{16}$	9,401	130000	0,05	-177,0	$1,0 \times 10^{17}$	5,183	220000	



Gambar 1. Struktur mikro pada percontohan S. A. setelah disinari (a) dan dilakukan pemanasan pasca penyinaran pada suhu 623 K (b), 773 K (c) dan 923 K (d), dilihat dengan TEM.

Keadaan ini dapat disebabkan oleh karena pada suhu tinggi cacat-cacat kecil menjadi lebih mudah bergerak sehingga dapat mengumpul menjadi beberapa kelompok dan membentuk ukuran yang lebih besar berupa *loop* (lingkaran).[2] *Loop* ini terbentuk pada suhu 923 K dengan diameter sekitar 9 nm (Tabel 2). Diduga jenis dari *loop* ini adalah interstitial.[3]

Pada Gambar 2, ditunjukkan foto TEM pada percontohan C.W. yang telah disinari dan kemudian dilakukan pemanasan pasca penyinaran pada suhu 623, 773 dan 923 K. Pada waktu belum dilakukan pemanasan pasca penyinaran, seperti ditunjukkan pada Gambar 2a, terlihat adanya titik-titik hitam yang merupakan cacat akibat radiasi.



Gambar 2. Struktur mikro pada percontohan C. W. setelah disinari (a) dan dilakukan pemanasan pasca penyinaran pada suhu 623 K (b), 773 K (c) dan 923 K (d), dilihat dengan TEM.

Seperti pada percontohan S.A., dengan bertambahnya suhu pemanasan pasca penyinaran maka ukuran cacatnya menjadi besar tetapi jumlahnya menjadi berkurang.

Pengaruh perubahan struktur mikro pada tegangan luluh (yields stress)

Dengan dilakukannya penyinaran pada percontohan maka pada percontohan tersebut

timbul cacat. Ternyata cacat ini dapat menyebabkan terjadinya kenaikan tegangan luluh. Untuk percontohan S.A., kenaikan tegangan luluhnya cukup tinggi yaitu sekitar 147.5 MPa (Tabel 2).

Hal ini disebabkan, karena dengan adanya cacat akibat penyinaran maka dapat menahan pergerakan dislokasi pada percontohan. Karena pergerakan dislokasi ini tertahan maka

tegangan luluhnya menjadi bertambah. Menurut teori pengerasan akibat penyinaran, ada hubungan sebagai berikut:[4]

$$\Delta\sigma_{0,2} = 2\alpha Gb \sqrt{N} d \quad (1)$$

$\sigma_{0,2}$ adalah selisih tegangan luluh sebelum dan setelah disinari, α adalah faktor yang berhubungan dengan kekuatan cacat, G adalah modulus gesek, b adalah Burger's vektor, N adalah kerapatan loop serta d adalah diameter loop.

Dari persamaan (1) ini dapat dihitung nilai α nya dan hasilnya, baik untuk percontohan S.A. maupun percontohan C.W., dapat dilihat dalam Tabel 2. Di sini terlihat bahwa untuk percontohan S.A., makin tinggi suhu, diameter cacatnya makin besar tetapi kerapatannya makin kecil dan dari sini nilai α yang diperoleh juga makin kecil. Dari Tabel 2 ini juga terlihat bahwa kerapatan loop sangat berpengaruh terhadap tegangan luluh bahan.

Makin berkurang kerapatannya, dikarenakan adanya kenaikan suhu pemanasan pasca penyinaran, maka kenaikan tegangan luluhnya juga makin berkurang.

Sedangkan untuk percontohan C.W., adanya cacat akibat penyinaran jumlahnya relatif kecil dibandingkan pada percontohan S.A., sehingga tegangan luluhnya hanya mengalami sedikit kenaikan. Jumlah cacat pada percontohan C.W. yang relatif sedikit ini dapat disebabkan oleh karena beberapa cacat yang timbul dari penyinaran tersebut menempel pada dislokasi dan terjadi rekombinasi antara cacat interstitial dengan cacat *vacancy* sehingga saling menetralkan.[5] Seperti pada percontohan S.A., dengan naiknya suhu maka diameter cacatnya menjadi bertambah, hanya bedanya pada percontohan C.W., kerapatannya juga ikut bertambah dan nilai α yang dihasilkan menjadi bertambah besar. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 2 pada kenaikan suhu dari 296 ke 623 K. Hal tersebut dapat diduga, bahwa telah terjadi pertumbuhan cacat kecil yang semula menempel pada dislokasi (dislokasi yang diperoleh dari hasil pengerjaan dingin). Dengan bertambahnya kerapatan dan diameter cacat, maka kenaikan tegangan luluhnya menjadi bertambah besar. Sehingga dari perhitungan diperoleh nilai α yang lebih besar dari pada nilai tersebut pada suhu 623 K. Kemudian untuk kenaikan suhu pemanasan pasca penyinaran berikutnya, tidak diperoleh adanya kenaikan nilai tegangan, meskipun masih diperoleh adanya kerapatan

dan diameter cacat yang cukup tinggi, (lihat Tabel 2). Hal ini dapat diduga bahwa, pada suhu yang lebih tinggi, yaitu pada 773 dan 923 K, dislokasi yang dihasilkan dari pengerjaan dingin sebagian sudah mulai memudar atau hilang. Memudar atau hilangnya sebagian dislokasi ini dapat menyebabkan penurunan nilai tegangan. Seperti diketahui bahwa dislokasi yang dihasilkan dari pengerjaan dingin dapat menyebabkan kenaikan nilai tegangan luluh dalam uji tarik.[6]

Bentuk patahan (Fracture Mode)

Pada Gambar 3 dan 4 ditunjukkan foto hasil SEM yang menerangkan beberapa bentuk patahan hasil uji tarik pada percontohan S.A. dan C.W. Pada percontohan S.A. yang tidak disinari, model patahannya adalah patahan yang membelah butir (*transgranular fracture*). Sedangkan pada bahan yang sama tetapi telah disinari, model patahannya adalah fungsi suhu dimana untuk suhu yang tinggi ada kecenderungan terjadinya perpindahan dari patah yang membelah butir (*transgranular fracture*) ke patah pada batas butir (*intergranular fracture*). Perubahan bentuk patahan ini terjadi pada suhu sekitar 773-923 K (Gambar 3). Kemudian untuk percontohan C.W., baik yang telah disinari maupun yang belum disinari, bentuk patahannya adalah patahan yang membelah butir. Meskipun telah dilakukan pemanasan pasca penyinaran sampai pada suhu 923 K, bentuk patahannya tetap *transgranular* (Gambar 4).

Perbedaan bentuk patahan pada percontohan S.A. dan C.W. ini dapat disebabkan karena pada percontohan S.A. cacat akibat radiasi dapat bergerak ke batas butir sehingga patahannya mengikuti sepanjang batas butir tersebut.[7] Sedangkan pada percontohan C.W., cacatnya tidak dapat bergerak ke batas butir karena tertahan oleh dislokasi sehingga pada waktu patah tidak dapat mengikuti sepanjang batas butir.

KESIMPULAN

Dari penelitian ini diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- Dari penyelidikan struktur mikro Fe-15Cr-20Ni dengan menggunakan TEM dapat dimengerti bahwa pengaruh radiasi α dapat menyebabkan timbulnya titik-titik hitam (*black dots*) yang akan berkembang menjadi loop bila dikenakan pemanasan pasca penyinaran. Loop ini diperkirakan dari tipe interstitial.

- b. Ditunjukkan bahwa tingginya kerapatan *loop* menyebabkan naiknya tegangan luluh dari bahan. Kerapatan *loop* makin berkurang dengan makin tingginya suhu pemanasan pasca penyinaran.
- c. Dislokasi hasil pengerjaan dingin dapat berfungsi sebagai tempat berkumpul dan menghilangnya cacat akibat penyinaran.
- d. Nilai α hasil penyinaran adalah sekitar 0.1.
- e. Perubahan struktur mikro mempengaruhi bentuk patahan hasil uji tarik dari bahan.

Untuk percontohan S.A., sebelum disinari bentuk patahannya adalah transgranular. Setelah pemanasan pasca penyinaran, terjadi perubahan bentuk patahan dari transgranular ke intergranular sesuai dengan kenaikan suhu. Suhu transisi tersebut adalah antara 773-923 K. Sedangkan untuk percontohan C.W., sampai dengan suhu pemanasan pasca penyinaran 923 K, bentuk patahannya tetap transgranular.

DAFTAR PUSTAKA

1. Yoshida, N., *Journal of Nuclear Materials* 174 (1990) 220.
2. Kiritani, M. and Takata, H., *Journal of Nuclear Materials* 69, 70 (1978) 277.
3. Yoshiie, T., Kojima, S., Sato, Y., Yoshida, N. and Kiritani, M., *Journal of Nuclear Materials* 133, 134 (1985) 390.
4. Gittus, J., *Irradiation Effects In Crystalline Solids*, Applied Science Publishers Ltd., 99.
5. Jastrzebski, Z. D., *The Nature of Engineering Materials*, John Wiley & Sons Inc. (1987) 222.
6. McCall J. L. and French, P. M., *Metallography in Failure Analysis*, Plenum Press, 23.

DISKUSI

Saiful:

Bagaimana dapat terbentuk ikatan silang atau tidak dan bagaimana laju ikatan ?

Budi Briyatmoko:

Sudah diukur dengan fraksi padat dengan cara mengekstraksi selama 24 jam pengukuran fraksi

$$\text{gel} = \frac{W_i}{W_o} \times 100 \%$$

Nenen Rusnaeni:

1. Berapa ketebalan *disk* yang digunakan untuk pengujian TEM?
2. Dengan menggunakan apa penentuan cacat titik dan densitasnya ?
3. Cacat yang terukur, apakah per satuan luas/volume ?
4. Apakah anda juga mengamati jenis-jenis dislokasi yang terjadi ?
5. Apakah kira-kira bisa dikerjakan di Indonesia ?

Budi Briyatmoko:

1. Ketebalan percontohan *disk* untuk TEM adalah sama dengan ketebalan dari percontohan uji tarik, yaitu 110 μm .
2. Penentuan diameter cacat titik dan densitasnya dilakukan dengan alat komputer, sebagai pembesar gambar foto TEM. Hal itu dilakukan dengan penglihatan visual, diameternya diukur dan hasilnya dirata-rata. Pada pengukuran densitas cacat, selain dengan menggunakan foto TEM, juga dibantu dengan tabel yang menunjukkan hubungan antara letak (*fringe*) dari suatu foto TEM dengan ketebalan bahan, sehingga dapat diketahui densitas (jumlah cacat/volume) yang diukur.
3. Densitas cacat diukur per satuan volume
4. Tidak, hanya densitasnya saja.
5. Bisa, tapi belum mencoba.