

PENGGUNAAN DIFRAKSI NEUTRON UNTUK PENGUKURAN REGANGAN DI HAZ SUS 304 BIMETAL UNTUK PENDEKATAN KONSEP PEMILIHAN MATERIAL TEMPERATUR TINGGI

Oleh

Abdul Hafid

Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir – BATAN

ABSTRAK

PENGGUNAAN DIFRAKSI NEUTRON UNTUK PENGUKURAN REGANGAN DI HAZ SUS 304 BIMETAL UNTUK PENDEKATAN KONSEP PEMILIHAN MATERIAL TEMPERATUR TINGGI.

Pada proses desain konseptual turbin gas temperatur tinggi menggunakan material temperatur tinggi. Oleh karena itu, penggunaan material *nickel based* banyak digunakan. Dalam proses fabrikasi, penyambungan dengan las akan banyak ditemui juga dengan penggunaan dua atau lebih material yang berbeda sifat, misalnya austenitik dengan feritik. Setiap proses pengerjaan las senantiasa menyebabkan adanya regangan sisa. Seberapa besar nilai regangan yang terjadi dalam material perlu diketahui untuk penanganan lebih lanjut. Penggunaan difraksi neutron untuk pengukuran regangan di daerah HAZ dilakukan dengan mengambil salah satu sampel material *nickel based* yaitu SUS 304. Hasil pengukuran yang diperoleh menunjukkan bahwa regangan sisa yang terjadi pada daerah HAZ SUS 304 cukup besar, yaitu arah transversal 320 mikrometer kondisi *tensile*; arah normal 1080 mikrometer kondisi *compress*; dan arah aksial 200 mikrometer kondisi *compress*. Setelah besar regangan sisa yang terdapat dalam material tersebut diketahui, proses perlakuan selanjutnya dapat dilakukan untuk mereduksi besar regangan tersebut.

Kata kunci: difraksi neutron, pengukuran regangan

ABSTRACT

THE USE OF NEUTRON DIFFRACTION TO STRAIN MEASUREMENT AT HAZ OF BIMETAL SUS 304 FOR SELECTION CONCEPT APPROACH OF HIGH TEMPERATURE MATERIAL.

In the conceptual design process of gas turbine high temperature using high temperature materials. Therefore, nickel based material is used widely. During fabrication process, welding is often used to join two or three different materials, for example austenitic and ferritic material. Any welding process causes residual strain. The value of this residual strain has to be identified for further treatment. The use of neutron diffraction to strain measurement at HAZ was carried out by having one nickel based material sample, SUS 304. The measurement results obtained indicate that the residual strain at HAZ of SUS 304 is relatively large on transversal direction, 320 micrometer of tensile condition; on normal direction, 1080 micrometer of compressed condition; and on axial direction, 200 micrometer of compressed condition. After the value of residual strain of the material is known, further treatment can be conducted to reduce this residual strain.

Pendahuluan

Kehadiran reaktor nuklir mendorong penerapan difraksi neutron pada masalah ilmu material yang tidak dapat diselesaikan secara memuaskan dengan teknik difraksi lain^[1]. Kemampuan berkas neutron untuk menembus sebagian besar bahan metal sampai beberapa sentimeter menjadikannya unggul untuk digunakan sebagai pemeriksa interior suatu bahan teknik. Ketiadaan muatan listrik pada neutron menjadikannya tidak terpengaruh oleh medan listrik, sehingga neutron akan dengan mudah berinteraksi dengan inti atom^[2],^[3]. Apabila pengukuran

regangan dilakukan dengan menggunakan sinar – X maka hal itu hanya dapat berlangsung pada permukaan logam, tetapi jika menggunakan difraksi neutron maka pengukuran dapat dilakukan pada kedalaman tertentu dari spesimen logam. Namun demikian untuk pengukuran regangan pada permukaan logam sangat sulit dilakukan dengan menggunakan difraksi neutron.

Pada dasarnya sifat mampu las baja tahan karat SUS 304 adalah baik, tetapi pada waktu proses las ketika pendinginan lambat dari temperatur 680°C ke 400 °C akan terbentuk karbida krom yang

mengendap diantara batas butir. Endapan ini menurunkan sifat tahan karat dan sifat mekaniknya^[4]. Pada logam las SUS 304 dengan logam pengisi (*filler*) *rod stainless steel 304* diperoleh *delta ferrit* sebesar 27,90 % dan kekuatan tarik 53,90 kg/mm². Korosi di daerah batas butir (*intergranular corrosion*) terjadi di daerah di bawah pengaruh panas las (HAZ) pada saat temperatur 426°C hingga 871°C^[5]. Secara ringkas dapat dikatakan bahwa ada dua kejadian mikro yang dapat diteliti secara uji rusak (metalografi) pada SUS 304 yang terkena dampak pengaruh panas las, yaitu adanya pengkasaran butir dan terbentuknya endapan karbida pada batas butir.

Tujuan yang diharapkan dengan penggunaan difraksi neutron adalah dapat dilaksanakannya pengujian tak rusak untuk mengamati perubahan regangan di daerah yang terkena dampak perubahan mikro, khususnya pada tengah pelat HAZ SUS 304. Spesimen adalah hasil pengelasan dua pelat logam berbeda SUS 304 dengan baja karbon SS400 menggunakan *filler* AWS A5.22 DW 309L dengan ketebalan 12 mm dan bentuk sambungan las V tunggal (*single V joint*). Penggunaan bimetal tersebut di atas sebagai upaya pendekatan pengukuran regangan dengan netron untuk mendukung konsep desain reaktor berpendingin gas temperatur tinggi. Dalam hal ini, pada pemilihan material desain turbin gas yang banyak menggunakan sambungan bimetal dengan berbagai komposisi namun demikian material dasar mengacu pada pilihan *nickel based material*.

Sumber neutron yang digunakan berasal dari reaksi fisi dari reaktor riset RSG-G.A. Siwabessy BATAN Serpong. Hamburan neutron dikeluarkan melalui lubang berkas no. 6 pada reaktor. Untuk memperoleh berkas neutron yang paralel digunakan kolimator sollar 40 inchi. Berkas neutron diseleksi panjang gelombangnya dengan monokromator jenis *double focussing* sehingga diperoleh hamburan neutron dengan satu panjang

gelombang. Hamburan neutron dengan satu panjang gelombang tersebut digunakan untuk pengukuran dengan menggunakan difraksi neutron. Selanjutnya spesimen diletakkan pada meja sampel yang dapat digerakkan dalam 3 arah sumbu simetri X, Y dan Z untuk menempatkan spesimen agar iradiasi tepat pada sasaran yang dituju.

Teori Dasar

Pada saat paparan (*illuminate*) radiasi dengan panjang gelombang yang sama mengenai daerah antar bidang material kristal akan menghamburkan radiasi sebagai puncak Bragg. Sudut yang menyebabkan terbentuknya puncak dihitung dengan hukum Bragg seperti ditunjukkan pada persamaan (1), yaitu:

$$d_{hkl} = \lambda / (2 \sin \theta_{hkl}) \dots (1)$$

dimana λ adalah panjang gelombang yang digunakan, d_{hkl} adalah jarak antar bidang dengan indeks Miller h, k, l dan θ_{hkl} adalah setengah dari sudut hamburan neutron.

Hamburan neutron yang digunakan untuk perhitungan regangan berasal dari pengukuran berkas neutron. Penentuan posisi hamburan dari berkas neutron menggunakan distribusi Gauss. Persamaan distribusi Gauss seperti ditunjukkan pada persamaan (2):

$$Y = Y_0 A \exp \left[\frac{-(X - X_c)^2}{2w^2} \right] \dots (2)$$

Dimana Y adalah intensitas, Y_0 adalah cacah latar (*background*), A adalah amplitudo, w adalah lebar tengah kurva yang mengindikasikan keakuratan nilai cacahan dan X_c adalah posisi puncak sudut 2θ ^[6]. Penyelesaian distribusi Gauss dapat dilakukan dengan menggunakan *software* Origin.

Regangan hasil pengukuran dihitung dengan menggunakan persamaan regangan dimana selisih hasil pengukuran jarak bidang (*lattice spacing*) d_{hkl} pada daerah HAZ dengan jarak bidang pada daerah logam SUS 304 yang tidak mendapat pengaruh panas las dibagi dengan jarak bidang tanpa pengaruh panas

las seperti ditunjukkan pada persamaan (3), yaitu:

$$\varepsilon_{hkl} = \frac{d_{hkl} - d_0}{d_0} \dots\dots\dots(3)$$

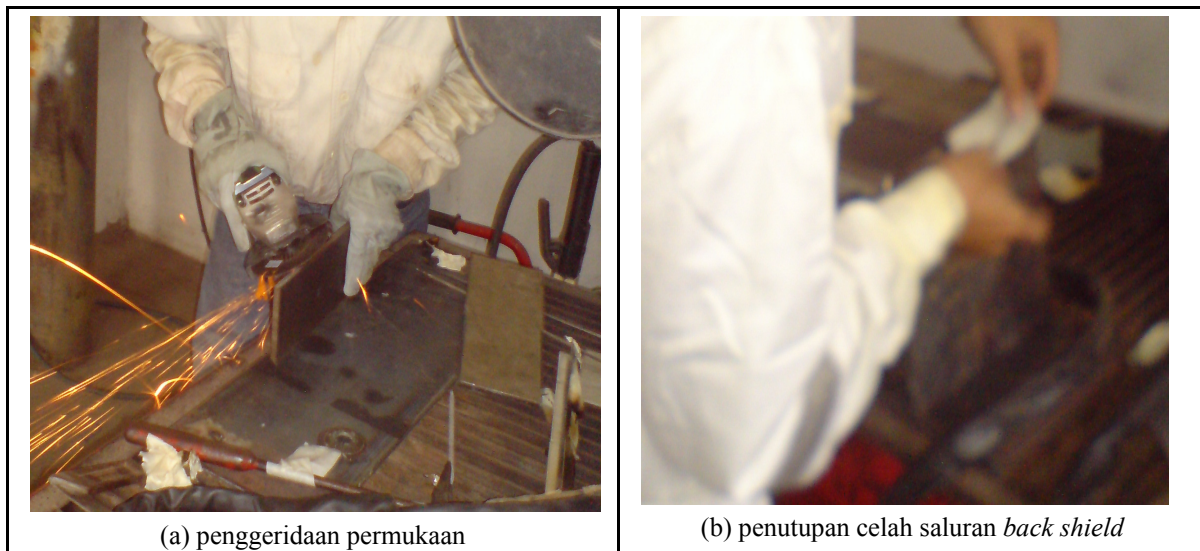
dimana ε_{hkl} merupakan regangan pada bidang, d_{hkl} merupakan jarak kisi bidang yang menjadi regang akibat pengaruh panas las dan d_0 adalah jarak kisi bidang yang tidak meregang karena tidak mendapat pengaruh panas. Nilai d_0 dapat dihitung dengan persamaan:

$$d_0 = \lambda / (2 \sin \theta_0). \dots\dots\dots (4)$$

dimana θ_0 merupakan setengah dari sudut hamburan neutron pada bidang yang tidak mendapat pengaruh panas las.

Eksperimen Pengukuran

Pelat baja tahan karat SUS 304 dan pelat baja karbon SS 400 dipotong dengan ukuran 300 x 100 x 12 mm menggunakan gergaji yang diberi pendingin. Salah satu sisi pelat kemudian di potong miring membentuk sudut 30° terhadap sumbu vertikalnya dengan menggunakan mesin frais. Selanjutnya sebelum melakukan proses pengelasan, permukaan hasil frais digerinda tipis seperti ditunjukkan pada Gambar 1(a) dengan mesin gerinda tangan



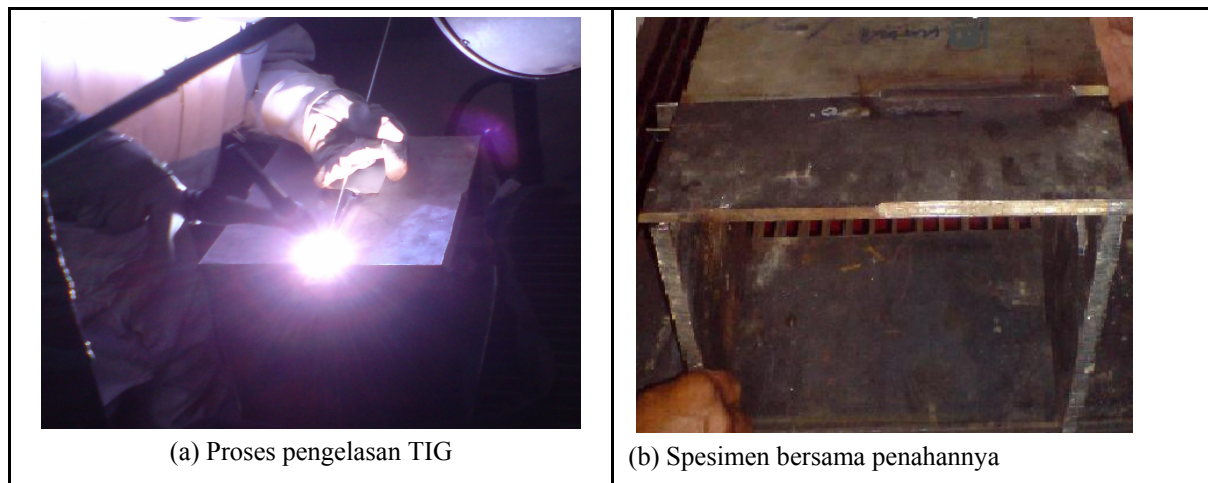
Gambar 1. Persiapan *specimen* sebelum di las dengan menggunakan las TIG

dan dibersihkan dengan etanol. Agar proses las dapat berlangsung sekali tanpa *back weld* maka pada daerah *root weld* diberi saluran *back shield* sebagai jalan mengalirnya gas Argon selama proses pengelasan *root* berlangsung seperti Gambar 1 (b) kemudian spesimen ditempatkan pada sistem penahan yang telah disiapkan. Setelah semua tahapan persiapan spesimen dan mesin las selesai, proses las

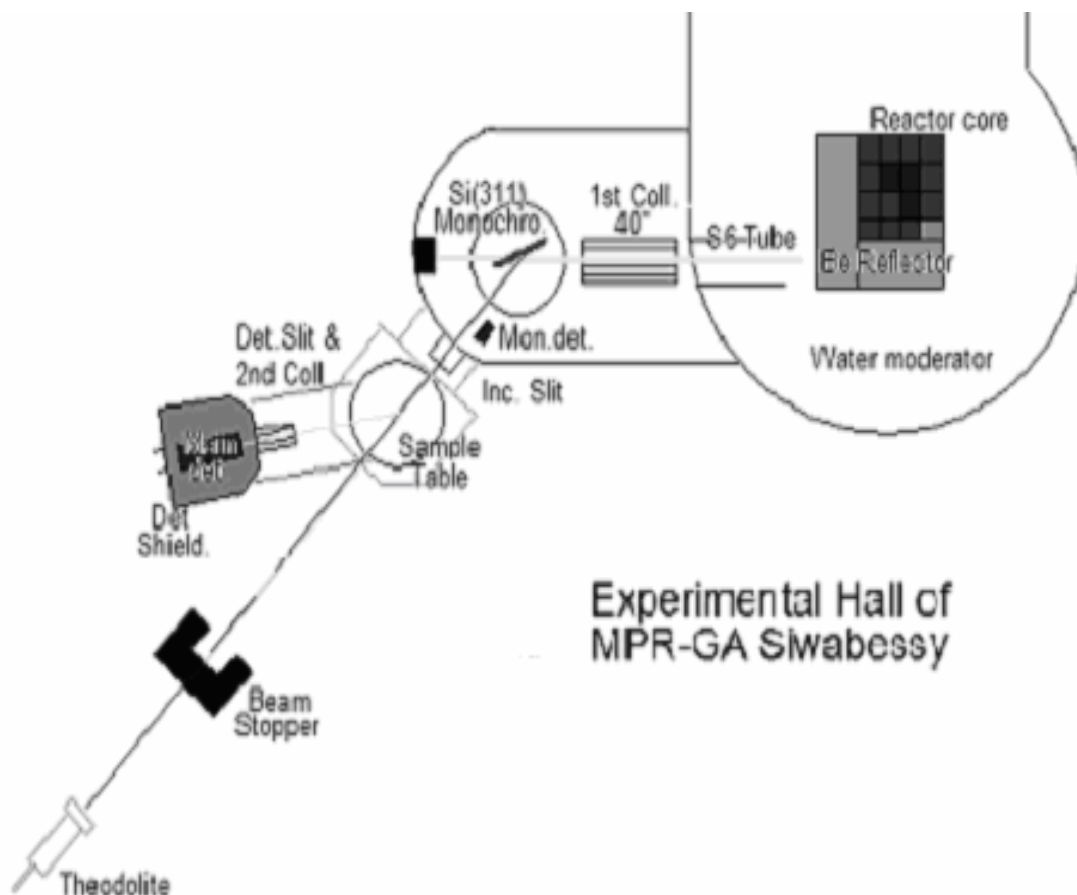
dilaksanakan dimulai dari ujung pelat yang telah dialur, seperti ditunjukkan pada Gambar 2(a). Proses las dilakukan secara berulang dengan selang waktu 5 menit hingga seluruh permukaan alur terisi filler. Berdasarkan hasil pengamatan diperoleh bahwa jumlah pas las pelat dengan tebal 12 mm adalah 6 pas. Hasil las spesimen sebelum di lepas dari sistem penahannya seperti ditunjukkan pada Gambar 2(b)

Pengukuran regangan pada daerah HAZ SUS 304 Percobaan RSG GAS Serpong. Susunan alat dilakukan dengan menggunakan alat difraktometer difraktometer DN1-M secara skematik seperti DN1-M milik Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir ditunjukkan pada Gambar 3.

(PTBIN) BATAN, yang terletak di dalam Balai



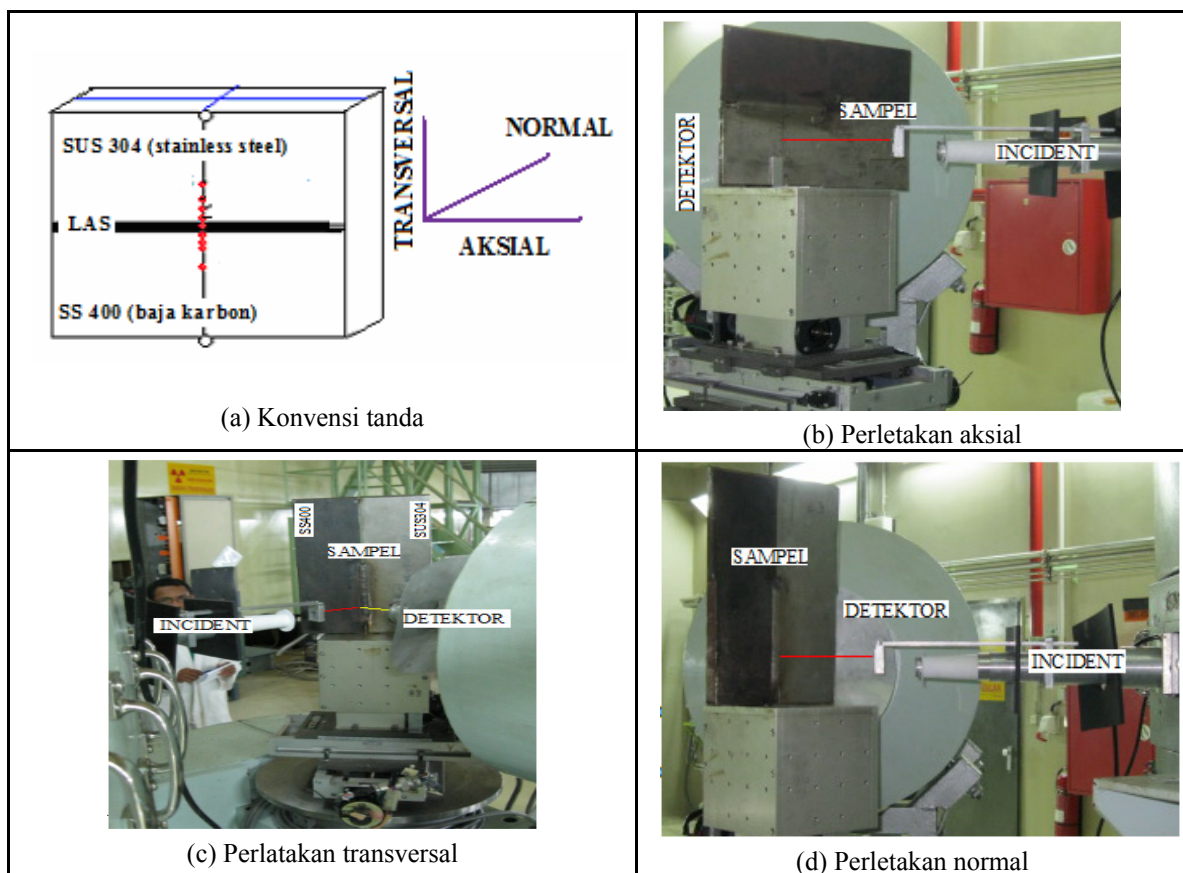
Gambar 2. Spesimen hasil las TIG baja tahan karat SUS 304 dengan baja karbon SS 400



Gambar 3. Diagram skematik difraktometer DN1-M pada Balai percobaan RSG-GAS^[2]

Pengukuran regangan spesimen dilakukan pada bidang indeks Miller 220 dengan sudut hamburan 2θ sekitar $92,5^\circ$. Dengan konvensi tanda seperti ditunjukkan pada Gambar 4, pengukuran dilakukan dalam 3 posisi yaitu arah transversal, normal dan aksial. Cara perletakan dan konvensi tanda posisi spesimen di atas meja difraktometer seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Pengukuran dilakukan pada pelat dengan ketebalan 12 mm di titik tengah tebal pelat pada jarak 5,5 mm; 10,5 mm dan 15,5 mm dari pertengahan daerah las. Pengukuran spesimen

dilakukan dengan menggunakan ukuran celah (*slit*) keluaran neutron sebesar 3×10 pada jarak 140 mm dari incident beam dan menggunakan *slit* masuk sebesar 3×3 untuk arah aksial serta *slit* 3×10 untuk arah normal dan transversal dengan jarak 100 mm dari detektor. Selama pengukuran panjang gelombang hamburan neutron dikalibrasi dengan menggunakan sampel standar Serbuk Si yang diukur pada bidang indeks Miller hkl (111), (220), (311) dan (331).



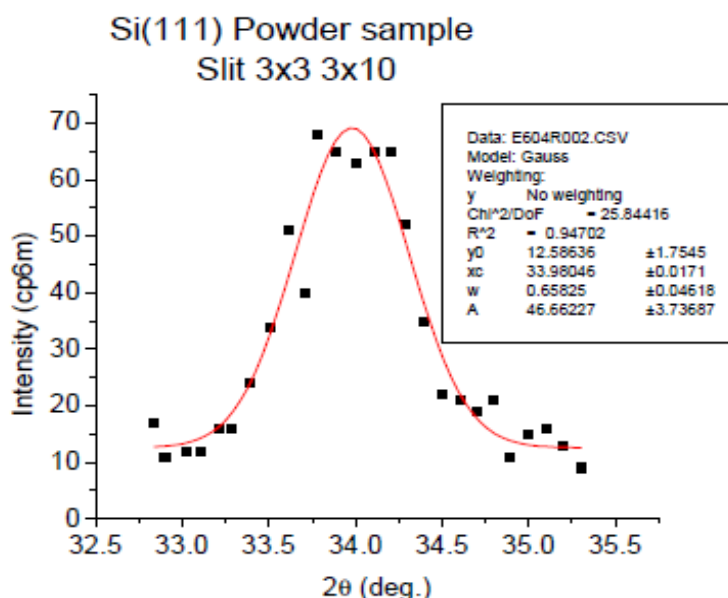
Gambar 4. Konvensi tanda dan tata letak posisi pengukuran pelat ^[6]

Hasil dan Pembahasan

Pengukuran sampel standar Si dalam bentuk serbuk dengan bidang indeks Miller (111), (220) dan (311). Hasil pengukuran tersebut kemudian dihitung, dianalisis dan ditampilkan dalam bentuk grafik dengan distribusi Gauss salah satunya seperti ditunjukkan pada Gambar 5. Pola perhitungan distribusi Gauss seperti dinyatakan pada persamaan 2. Dari posisi puncak yang diperoleh selanjutnya dilakukan perhitungan panjang gelombang dan diperoleh hasil seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Setelah pengukuran sampel standar, langkah selanjutnya adalah melakukan pengukuran sampel. Dengan menggunakan sampel yang memiliki

ketebalan 8 mm pengukuran dilakukan pada daerah *heat affected zone* (HAZ) hasil las SUS 304 dengan baja karbon dengan menggunakan logam pengisi TGS-309L. Pada makalah ini hasil pengukuran yang dijelaskan hanya pada hasil pengukuran daerah HAZ SUS 304 saja. Pengukuran sampel dilakukan pada dua keadaan, yaitu sebelum pengelasan dan setelah pengelasan. Skenario ini untuk memperoleh hasil pengukuran regangan dengan perbedaan hasil pengukuran regangan sebelum pengelasan dan setelah pengelasan pada daerah HAZ material SUS 304 yang diukur regangannya seperti ditunjukkan pada Tabel 2.



Gambar 5. Difraktogram dari serbuk silikon (Si) jenis NBS640b. Titik-titik menunjukkan hasil pengukuran neutron dan garis kurva menunjukkan hasil perhitungan Gaussian.

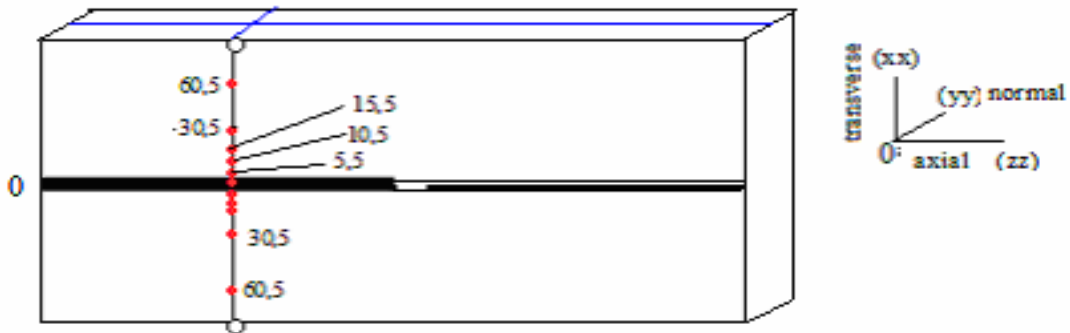
Tabel 1. Hasil perhitungan panjang gelombang neutron yang digunakan selama pengukuran sampel

Si $a=5,43094$ $u(a)=0,000011$				Used Si : (NBS 640b) (J Appl. Cryst. (2007) 40, 232-240)		$\lambda_0 = 1,825$		slit 3x10	
h	k	l	d (Å)	2θ	λ	2θ cal	$1/d \cdot \cos\theta$	$\Delta 2\theta$	
1	1	1	3,135555	34,04635	1,835920	33,8377	0,333536	0,208635	
2	2	0	1,920127	57,14086	1,836558	56,7485	0,593010	0,392348	
3	1	1	1,637490	68,22276	1,836620	67,7324	0,737595	0,490369	

Ada tiga posisi pengukuran yang dilakukan pada arah X sampel dalam pengukuran regangan pelat, yaitu:

- Posisi pengukuran sejajar dengan arah sumbu las disebut posisi aksial (arah Z)
- Posisi pengukuran sejajar dengan arah sumbu

Posisi pengukuran sejajar dengan arah sumbu Y
Ketiga arah sumbu pengukuran seperti ditunjukkan pada Gambar 6.



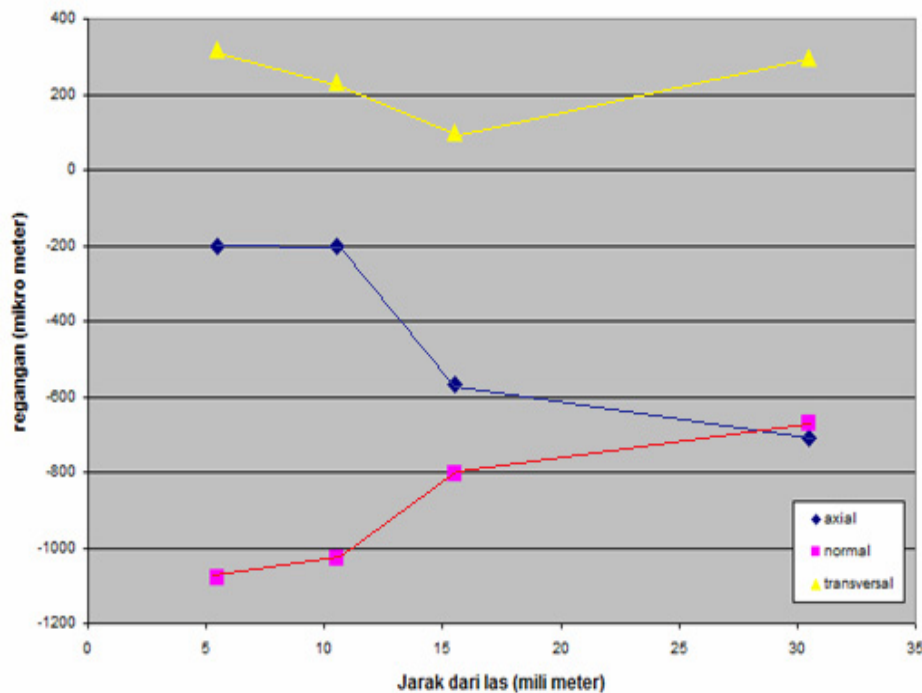
Gambar 6. Tiga posisi pengukuran regangan dengan neutron pada sampel material SUS 304

Tabel 2. Hasil pengukuran pergeseran (*displacement*) butir logam akibat lasan dengan difraksi neutron

No	Posisi dari las (mm)	Arah	<i>Displacement</i> sebelum las	<i>Displacement</i> setelah las	Regangan (μm)
1	5,5	Aksial	1,2718637	1,2716095	-200
2	10,5	Aksial	1,2718637	1,2716050	-203
3	15,5	Aksial	1,2718637	1,271400	-569
4	30,5	Aksial	1,2718637	1,2709599	-711
1	5,5	Normal	1,2704030	1,2690289	-1082
2	10,5	Normal	1,2704030	1,2690979	-1027
3	15,5	Normal	1,2704030	1,2693808	-805
4	30,5	Normal	1,2704030	1,2695523	-670
1	5,5	Transversal	1,2693428	1,2706779	1052
2	10,5	Transversal	1,2693428	1,2705686	966
3	15,5	Transversal	1,2693428	1,2704007	833
4	30,5	Transversal	1,2693428	1,2706481	1028

Dari hasil pengukuran sampel SUS 304 diperoleh pada tiga posisi pengukuran regangan dan grafik regangannya seperti ditunjukkan pada Gambar 7. Daerah las hingga batas las pada jarak 0 mm hingga 4,5 mm. Dengan demikian pada jarak 5 mm hingga 20 mm diprediksikan sebagai daerah yang

mendapat pengaruh panas las (*heat affective zone* = HAZ). Dari hasil pengukuran tersebut dapat terlihat bahwa akibat panas las maka regangan pada material SUS 304 dalam arah normal mengalami regangan tekan (*compression strain*) hingga sekitar 1080 mikro meter dan pada arah transversal mengala-



Gambar 7. Grafik pengukuran regangan dengan neutron pada HAZ SUS 304 tebal 8 mm

mi regangan tarik (*tensile strain*) hingga selitar 320 mikro meter. Dalam arah aksial besar regangan akibat panas las tidak terlalu besar karena hanya berada pada kisaran 200 mikro meter regangan tekan.

Akibat terjadinya regangan yang cukup besar pada daerah HAZ akan mengakibatkan terjadinya penurunan kekuatan material yang cukup besar. Hal ini akan semakin berdampak besar utamanya pada rancangan-rancangan komponen teknik yang akan beroperasi pada temperatur tinggi misalnya turbin gas. Oleh karena itu pengukuran regangan yang terjadi pada material yang akan digunakan perlu dilakukan. Aplikasi neutron untuk pengukuran regangan tersebut dapat digunakan oleh karena berdasarkan hasil pengukuran dengan menggunakan material SUS 304 yang merupakan induk dari

material *stainless steel* dengan kandungan Ni yang cukup besar sekitar 20 hingga 22 % dapat diperoleh hasil pengukuran yang cukup baik.

Pengukuran regangan yang terjadi pada material berguna untuk menjadi bahan pertimbangan bagi *engineer* khususnya dalam perhitungan kekuatan material pada berbagai macam desain teknis termasuk dalam proses desain turbin gas dengan temperatur tinggi. Oleh karena banyaknya penggunaan dua material yang berbeda pada desain turbin gas dengan konsep penggunaan material yang berbasis pada nikel (*nickel based*). Pengukuran regangan dengan menggunakan neutron menunjukkan bahwa metode ini cukup mungkin untuk digunakan dalam proses desain turbin gas khususnya perhitungan analisis material turbin gas

temperatur tinggi.

Tingginya nilai regangan hasil pengukuran menyebabkan perlunya tindakan untuk mereduksi besar regangan tersebut. Pada kondisi las antara dua logam las berbeda tersebut di atas upaya reduksi dapat dilakukan dengan cara memberikan getaran yang dapat mempengaruhi sifat mekanis material dalam arah normal dan transversal. Metode ini lebih tepat untuk sambungan dua logam dengan dua sifat yang sangat berbeda. Dalam hal ini, material SUS 304 bersifat austenitik yang tidak memiliki sifat magnetik sedangkan SS400 memiliki sifat feritik yang sangat bersifat magnetik.

KESIMPULAN

Aplikasi difraksi neutron untuk pengukuran regangan pada hasil las material SUS 304 pada daerah tengah pelat telah dilakukan. Untuk pengukuran pelat proses pengukuran meliputi pengukuran titik pada dimensi ruang, yaitu posisi aksial, transversal dan normal. Pada setiap posisi pengukuran spesimen harus diatur secara manual sehingga sesuai dengan posisi penempatan yang dikehendaki. Pengukuran untuk material yang merupakan material berbasis nikel (*nickel based*) juga dapat dilakukan dengan difraksi neutron. Sampel standar yang digunakan untuk analisis adalah silikon NBS 640 b dengan ukuran slit 3x10 mm. Berdasarkan hasil analisis diperoleh bahwa besar regangan pada daerah tengah pelat dengan ketebalan 8 mm untuk arah transversal sebesar 320 mikrometer arah tarik (*tensile*), dalam arah normal regangan sebesar 1080 mikrometer arah tekan (*compression*) dan pada arah aksial sebesar 200 mikrometer arah tekan (*compression*). Regangan sisa yang cukup besar akan berdampak buruk pada hasil desain terlebih lagi untuk penggunaan material pada temperatur tinggi bertekanan. Oleh karena itu proses perlakuan perlu dinyatakan dalam proses desain dengan setelah sebelumnya dilakukan proses pengukuran regangan dengan menggunakan difraksi

neutron khususnya dalam proses desain yang menggunakan material temperatur tinggi.

Ucapan Terima Kasih

Pada kesempatan ini ucapan terima kasih kami sampaikan kepada:

Bapak Ir. Rifai Muslih, Arya dan Benny yang telah banyak membantu dalam proses pengambilan dan pengolahan data pengukuran regangan sisa menggunakan alat ukur tegangan sisa DN1 milik PTBIN-BATAN.

DAFTAR PUSTAKA

1. R. E. Smallman and R. J. Bishop, *Modern Physical Metallurgy and Materials Engineering 6th Edition*, Butterworth – Heinenmann, a division of Reed Educational & Professional Publishing Ltd., England, 1999, Ch.6. pp.161-162
2. M. Refai Muslih dan Soeharto, Aplikasi Berkas Neutron Pada Difraktometer Neutron DN1-M Untuk Pengukuran Regangan Di Daerah Dekat Permukaan Baja AISI 1045, *Prosiding Seminar Nasional ke-16 Teknologi dan Keselamatan PLTN Serta Fasilitas Nuklir*, PTRKN BATAN, 2010, hal. 237-241.
3. G. E. Bacon, *Neutron diffraction*, Clarendon Press, 1962, Ch. 2. pp. 22
4. Widia Setiawan dan Nugroho Santoso, Pengelasan Dissimilar Metal Baja Karbon Rendah ST 37 dan Baja Austenitik SUS 304 (Tahan Karat) Pada Pengelasan SMAW Terhadap Sifat Mekanik, *Forum Teknik Vol. 30* (2006), 129 – 136
5. Ibnu Ruliyanto, Analisa Pengaruh Delta Ferrit Pada Logam Las Baja Tahan Karat Austenitik Terhadap Sifat Mekanis, *Buletin IPT*, No. 2 Vol V (1999), hal. 13-19.
6. Abdul Hafid, Karakterisasi Tegangan Sisa dan Struktur Mikro Hasil Las Disimilar Metal SUS 304 Dengan JIS 3101 SS400, Tesis, *Program Studi Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia*, 2011 halaman 13.