

TRANSFORMASI STRUKTUR KRISTAL FASA α - γ PADA SERBUK BAJA A2 NON STANDAR BAHAN STRUKTUR REAKTOR

Parikin, T. H. Priyanto, A.H. Ismoyo, N. Effendi dan I. Wahyono

Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju - BATAN

Kawasan Puspiptek Serpong Tangerang Selatan, 15314

e-mail: farihin@batan.go.id

(Naskah diterima: 24-04-2014, disetujui:23-05-2014)

ABSTRAK

TRANSFORMASI STRUKTUR KRISTAL FASA α - γ PADA SERBUK BAJA A2 NON STANDAR BAHAN STRUKTUR REAKTOR. Dalam memenuhi kebutuhan material baja yang memiliki keunggulan khusus seperti bahan struktur tahan operasi temperatur tinggi, Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju (PSTBM) BATAN telah membuat serial baja austenitik (A) dan feritik (F) non standar secara mandiri, yang diterapkan sebagai bahan struktur reaktor. Sifat tekstur yang mencerminkan kekuatan mekanik bahan teknik pada arah tertentu sangat menarik diteliti. Bahan isotropic yang dibuat dari serbuk sebagai data pembanding terhadap sifat anisotropic akibat perlakuan (pengerolan) digunakan untuk mendapatkan sifat tekstur bahan baja A2 non standar. Tujuan pembuatan bahan serbuk A2 ini adalah untuk melakukan koreksi isotropis terhadap pengukuran sifat tekstur baja A2 non standar. Bahan serbuk Fe, Cr, Ni, Mn dan Si sesuai dengan komposisi A2 dicampur homogen dan dibuat pelet dengan penekanan 6 ton/cm². Fasa awal serbuk A2 ditransformasikan ke dalam sistem paduan isotropik (fasa matrik) baja A2 non standar dengan proses sintering dan mengacu pada diagram fasa paduan Fe-C serta formulasi karbon ekuivalen (CE). Hasil memperlihatkan bahwa serbuk A2 berhasil mencapai fasa austenitik dari bahan mentah komposit dengan poses sintering 1100 °C selama 6 jam. Analisis kuantitatif Rietveld melaporkan bahwa: struktur pada bahan adalah: 78 % fasa γ -Fe (fcc; a=b=c, α = β = γ), 16 % fasa Fe₃C (rhombohedral; a \neq b \neq c, α = β = γ) dan 6% fasa α -Fe (bcc; a=b=c, α = β = γ) yang berasal dari fasa γ -Fe metastabil.

Kata Kunci : serbuk A2, baja A2 non standar, difraksi neutron, difraksi sinar-X , MAUD dan analisis Rietveld.

ABSTRACT

TRANSFORMATION OF CRYSTAL STRUCTURE α - γ PHASE ON A2 NON STANDARD STEEL POWDER AS REACTOR STRUCTURE MATERIALS. For meeting the need for steel materials having a distinctive quality such as high-temperature resistant, the Center for Science and Technology of Advanced Materials (PSTBM) BATAN has independently synthesized a series of non standard austenitic (A) and ferritic (F) steels, which are to be utilized as the fundamental structural material of a nuclear reactor. The study of textural pattern in engineering materials is the area of interest since textural pattern is a manifestation of the mechanical strength properties of the fore-mentioned materials in a particular coordinate or crystallographic direction. Materials with both isotropic and anisotropic properties (due to the rolling treatment) are used and compared in this work to obtain the texture properties of non-standard steel A2. The purpose of A2 powder material synthesis is to obtain the isotropic correction to the measurement of textural

properties of non standard A2 steel. The starting Fe, Cr, Ni, Mn and Si powder materials are homogenously mixed in accordance with the A2 fractional composition and pelletized with a pressure load of 6 tons/cm². The transformation of the initial A2 phase powder into the isotropic alloy system (matrix phase) A2 non-standard steel is achieved by sintering process in accordance with the phase diagram of Fe-C alloy and the formulation of carbon equivalent (CE). The results show that the non-standard powder alloy A2 has been successfully transformed from composite raw materials into austenitic phase after six hours of sintering at 1100 °C followed by quenching to room temperature. Rietveld quantitative analysis shows that the structure of the material is about 78% γ -Fe phase (fcc; $a=b=c$, $\alpha=\beta=\gamma$), about 16 % Fe₃C-phase (rhombohedral; $a\neq b\neq c$, $\alpha=\beta=\gamma$) and about 6 % α -Fe phase (bcc ; $a=b=c$ $\alpha=\beta=\gamma$) that is originated from γ -Fe metastable.

Keywords : A2 powder, A2 non standard steels, neutron diffraction, X-ray diffraction, MAUD and Rietveld analysis.

PENDAHULUAN

Baja tahan karat austenitik merupakan material yang banyak digunakan di industri, karena memiliki sifat tahan korosi, sifat plastis dan mekanik yang baik. Tipe baja ini banyak diproduksi masal. Secara struktural baja ini dapat dibagi menjadi baja berstruktur austenitik stabil, baja berstruktur austenitik instabil (mampu bertransformasi ke fasa martensitik selama deformasi plastis berlangsung) dan baja berstruktur campuran austenitik-feritik (*duplex*)^[1-4].

Untuk memenuhi kebutuhan baja yang memiliki keunggulan khusus seperti bahan struktur untuk operasi temperatur tinggi (*reactor structural materials*), Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju (PSTBM) BATAN telah membuat serial baja austenitik (A) dan feritik (F) non standar secara mandiri^[5]. Baja serial A dan F ini akan diterapkan sebagai bahan struktur reaktor. Sampai saat ini telah dibuat dua buah serial baja Austenitik (A1&A2) dan baja Feritik (F1&F2). Baja austenitik A2 non standar merupakan baja *low carbon* ramuan mandiri yang dibuat dengan teknik *casting* di Pusat Penelitian Telimek LIPI Bandung.

Karakterisasi sifat bahan ini telah dilakukan^[5,6], termasuk sifat tekstur yang dapat menaikkan performa keandalan bahan teknik. Sifat tekstur sangat dipengaruhi oleh arah orientasi kristal dalam bahan. Sifat ini

mampu mengubah kekuatan mekanik pada suatu arah tertentu. Sifat ini banyak dibutuhkan pada baja teknik untuk keperluan khusus; misalnya tali baja penarik jembatan gantung antar tempat/pulau, tali *crane* pengangkat peti kemas, tali kereta gantung atau *lift* dan lain-lain. Penelitian tekstur pada serial baja A&F non standar ini belum banyak dilakukan, baru pada tahun 2011 Azis K.J. dkk.^[6] melaporkan hasil identifikasi sifat tekstur baja non standar A1 yang diperlakukan rol panas dengan memanfaatkan plot ODF-MAUD^[7]. Pola tekstur plat baja ini konsisten dengan pola tekstur bahan bersimetri kristal *face centered cubic (fcc)*.

Pengukuran tekstur dengan teknik difraksi memerlukan informasi sifat isotropis bahan. Sifat ini harus diketahui lebih dahulu agar bahan *bulk*, dengan dan/tidak diperlakukan (*aniling, rolling, extrushing*), orientasinya dapat diprediksi dengan benar.

Koreksi *defocusing* harus dilakukan, agar sifat tekstur bahan dapat diamati dengan lengkap. Efek *defocusing* dapat menyebabkan turunnya intensitas berkas karena perubahan sudut kemiringan (*tilting*; χ), oleh karena adanya perbedaan lintasan berkas pada cuplikan. Untuk meminimalkan efek ini perlu dilakukan normalisasi dengan menggunakan cuplikan *non-texture*, yaitu cuplikan yang tidak mempunyai *preffered orientation* atau

bersifat isotropis. Perbandingan intensitas cacahan dalam kondisi *isotropic* (serbasama segala arah) dengan kondisi *anisotropic* (tidak serbasama) dapat memberi gambaran sifat tekstur bahan tersebut.

Pengukuran sifat tekstur bahan dimulai dari pemeriksaan awal bahan sebelum diberi perlakuan. Pengamatan data sifat tekstur bahan akibat pengaruh proses rol panas harus melalui beberapa tahap pemeriksaan, diantaranya: struktur kristal

serbuk isotropis awal, struktur kristal ingot bahan (*as cast*) dan struktur kristal bahan dengan perlakuan.

Dalam makalah ini dipaparkan bagaimana mempersiapkan bahan serbuk paduan A2 yang bersifat isotropis dengan perlakuan sintering untuk keperluan koreksi *defocusing* dan sebagai data pembanding dalam pengukuran sifat tekstur baja A2 non standar sebagai bahan struktur reaktor.

Tabel 1. Spesifikasi bahan baku yang digunakan pada sintesis paduan baja A2 non standard (*catalogue spec*)^[5] dalam % berat

Komposisi	Fe	Ni	Cr	Mn	Si	C	Al	S	P	Ti
Fe scrap (LC)	99,170	-	-	0,49	0,30	0,03	-	-	-	0,001
Ni	-	99,99	-	-	-	-	-	-	-	-
FeCr (LC)	28,486	-	70,46	-	0,94	0,073	-	0,01	0,03	0,004
FeMn(MC)	23,044	-	-	75,00	0,52	1,30	-	0,006	0,13	-
FeSi (LC)	24,714	-	-	-	75,00	0,118	0,14	0,023	0,005	0,015

LC=low Carbon, MC=Midle Carbon

TATA KERJA

Pembuatan ingot baja A2 non standar

Bahan baku utama pembuatan ingot baja A2 non standar adalah : besi scrap granular, nikel, besi-krom, besi-mangan, besi-silikon. Bahan mineral ini diekstraksi dari tambang mineral dalam negeri^[5]. Tabel 1 merupakan komposisi bahan baku yang digunakan dalam pembuatan baja austenitic A2 non standar. Bahan yang digunakan dalam proses katalis pemaduan adalah *feldspar* dan kapur. *Feldspar* digunakan sebagai pemisah *slag* atau pengotor dari ingot baja austenitik (bahan utama), sedangkan kapur berguna untuk menutup oksigen dari udara yang mencegah terjadinya oksidasi pada bahan. Prosedur ini dilakukan supaya komponen mudah/cepat mencair dan menghasilkan baja yang

diinginkan dengan homogenitas tinggi. Proses peleburan komponen baja menjadi ingot dilakukan di Pusat Penelitian Telekomunikasi dan Mekatronika LIPI Bandung menggunakan Tungku termal-induksi yang beroperasi secara vibrasi elektromagnetik.

Pembuatan serbuk tiruan baja A2 non standar

Pada Gambar 1 diperlihatkan bahan serbuk paduan A2 yang diproses sinter pada 1100 °C selama 6 jam. Pemilihan temperatur ini disesuaikan dengan kondisi tungku pembakaran dan prediksi pembentukan fasa austenit (γ -Fe; *fcc*) dalam baja A2 non standar telah dapat tercapai.



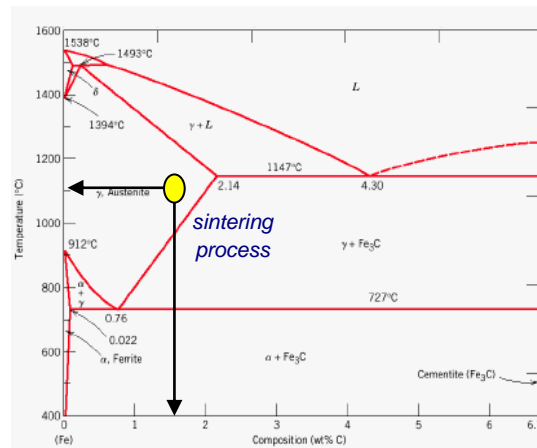
Gambar 1. Sintering serbuk A2 non standar untuk mentransformasi fasa; struktur besi *body centered cubic* (bcc) menjadi struktur *face centered cubic* (fcc) dengan metode *powder metallurgy*; (a) tungku termolyne47000 (b) serbuk paduan besi a2 (c) precursor a2 dalam cawan keramik (d) precursor a2 quench dari 1100°C ke temperatur ruang.

Bahan serbuk paduan berkomposisi A2 di atas dicampur biasa dengan metode *powder metallurgy* menggunakan ultrasonik hingga homogen, untuk mendapatkan bahan paduan tiruan A2 yang isotropis berstruktur fcc. Serbuk dibentuk pelet berdimensi jejari 2,5 cm dan tebal 4 mm. Pelet dipres dengan beban sekitar 6 ton/cm², kemudian dipanaskan (*sintering*) pada temperatur 1100°C selama 6 jam dan didinginkan cepat (*quench*) ke temperatur ruang, seperti terlihat pada Gambar 2. Pelaksanaan sintering bahan harus mempertimbangkan kandungan karbon ekuivalen dalam bahan paduan. Prediksi komposisi karbon ekuivalen dapat dilakukan dengan beberapa formula. Salah satu perumusan yang sangat direkomendasikan untuk bahan baja struktur adalah dari *American Welding Society* (AWS) dan perumusan lainnya adalah didasarkan pada *International Institute of Welding* (IIW) [9]. Menurut AWS karbon ekuivalen dirumuskan dengan:

$$CE = \%C + \left(\frac{\%Mn + \%Si}{6} \right) + \left(\frac{\%Cr + \%Mo + \%V}{5} \right) + \left(\frac{\%Cu + \%Ni}{15} \right) \quad (1)$$

Sedang IIW memberi perumusan seperti berikut:

$$CE = \%C + \frac{\%Mn}{6} + \left(\frac{\%Cr + \%Mo + \%V}{5} \right) + \left(\frac{\%Cu + \%Ni}{15} \right)$$



Gambar 2. Diagram fasa Fe-C [8]. A2 non standar memiliki nilai %C ekuivalen sekitar 1,58 dan sintering dilakukan pada temperatur 1100°C.

Kedua perumusan ini boleh digunakan untuk mendapatkan nilai karbon ekuivalen (CE), yang membedakannya hanya pada kandungan unsur Si dalam paduan. Jika terdapat kandungan unsur Si dalam paduan maka perumusan pertama yang digunakan tetapi jika tidak maka perumusan kedua yang digunakan.

Dalam prakteknya, mempersiapkan bahan yang berkondisi serbasama (*isotropic*), tidak sederhana dan mudah. Bahan paduan A2 non standar berstruktur *face centered cubic* (fcc), sudah memiliki sifat tekstur setelah diberi perlakuan pengerolan. Pada pengukuran sifat tekstur bahan ini perlu dibuat baja tiruan dari serbuk Fe, Cr, Ni, Mn dan Si, yang berkomposisi sama dengan baja A2 non standar.

Dalam pencarian dan preparasi bahan serbuk A2 yang bersifat isotropis beberapa metode dilakukan di Laboratorium PSTBM BATAN. Salah satunya dengan proses pencampuran komposisi bahan penyusun paduan A2 non standar. Unsur-

unsur penyusun paduan dicampur dengan proses pengadukan ultrasonik. Satu demi satu unsur penyusun ditambahkan dan diaduk sempurna agar memiliki kehomogenan yang tinggi. Pencampuran (*mixing*) dengan proses *powder metallurgy* tidak menjamin mendapatkan serbuk A2 yang berstruktur *fcc*, tetapi faktanya masih berupa campuran komposit dari serbuk-serbuk penyusunnya, atau dikatakan berstruktur campuran (*composite*). Struktur campuran ini harus diubah menjadi struktur *fcc* yang bersifat isotropis untuk memberi efek hamburan, agar *texturing* dapat diamati dengan seksama. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut campuran serbuk harus disinter pada temperatur 1100 °C (fasa austenitik) seperti ditunjukkan pada diagram fasa Gambar 2. Perlakuan termal *sintering* serbuk A2 ini menggunakan tungku *Termolyne* 4700 dengan laju kenaikan sebesar 14 °C/menit. Setelah tercapai dibiarkan pada temperatur tersebut selama 6 jam dan selanjutnya didinginkan cepat (*air quenching*) menuju temperatur ruang.

Metode karakterisasi dan analisis

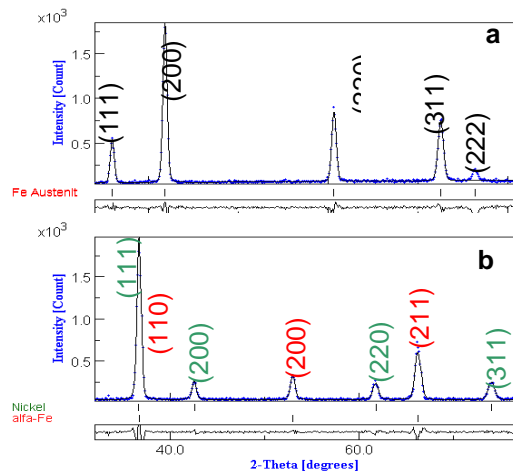
Pengujian pelet dilakukan menggunakan metode difraksi neutron *Four Circle Diffractometer/Texture Diffractometer (FCD/TD)* pada panjang gelombang 1,2799 Å dan difraksi sinar-X dengan target Cu-K α di PSTBM BATAN Serpong. Sebagian analisis pola / struktur kristal dilakukan menggunakan program MAUD^[7] dan RIETAN (*Rietveld Analysis*)^[10].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 3a merupakan pola difraksi hasil *running* FCD/TD pada sampel ingot baja A2 non standar dengan panjang gelombang 1,2799 Å. Lima (5) puncak

bidang refleksi karakteristik pertama struktur austenit (γ -Fe) teridentifikasi sempurna, yakni; (111), (200), (220), (311) dan (222). Puncak difraksi terlihat sangat jelas dan tajam dengan tampilan *peak to background ratio* yang besar. Statistik data hamburan memperlihatkan puncak bidang (200) lebih dominan diantara empat puncak lainnya. Tampilan pola *residual* yang sempit antara data pengamatan dengan data perhitungan menunjukkan ketepatan prediksi struktur bahan. Program MAUD^[7] digunakan untuk menganalisis struktur awal bahan ingot A2 non standar ini, sebagai pola acuan awal struktur bahan A2 non standar.

Pada Gambar 3b diperlihatkan pola difraksi campuran bahan A2 yang dilakukan dengan pengadukan ultrasonik tanpa perlakuan sintering. Analisis dengan *software* MAUD, memperlihatkan paduan memiliki struktur kristal komposit atau gabungan, yang didominasi oleh struktur kristal Nikel (*face centered cubic; fcc*) yang menumbuhkan puncak bidang (111), (200), (220), (311) dan struktur kristal feritik; α -Fe (*body centered cubic; bcc*) yang menampilkan puncak bidang (100), (200) dan (211). Kemampuan analisis *software* MAUD memisahkan puncak yang saling tumpang tindih (*overlapping*), diperlihatkan pada kedua struktur gabungan bahan ini. Prediksi kepemilikan puncak bidang antara unsur Ni dan α -Fe ditunjukkan jelas pada puncak pertama; bidang Ni(111) dan Fe(110) dengan jangkauan selisih 2θ yang sangat sempit atau hampir berimpit. Pola *residual* antara data pengamatan dan data perhitungan sangat memadai dalam ketepatan penentuan struktur bahan. Bahan paduan A2 ini belum berstruktur *fcc* isotropis yang diharapkan sebagai pembanding dan tidak boleh digunakan sebagai struktur acuan isotropis *face centered cubic*.

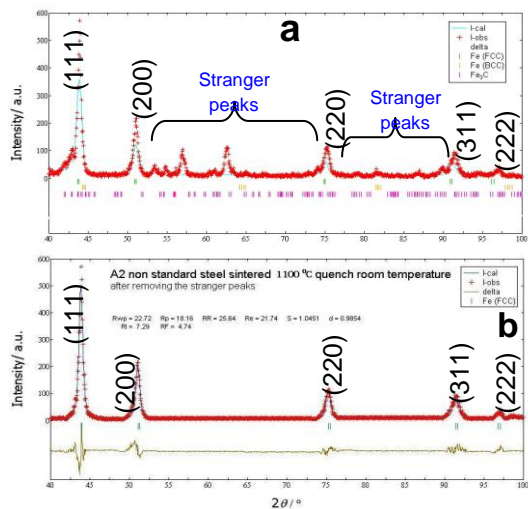


Gambar 3. (a) Penghalusan baja A2 non standar; sampel ingot. Lima (5) puncak γ -Fe (austenit); (111), (200), (220), (311) dan (222). (b) Penghalusan pelet A2 tanpa sinter. Tumbuh tiga (3) puncak α -Fe; (110), (200), (211) dan Empat (4) puncak Ni (111), (200), (220) dan (311). Bahan merupakan komposit/gabungan antara Fe dan Ni. FCD/TD 1,2799 Å.

Proses transformasi fasa serbuk A2 yang berstruktur kristal campuran komposit menjadi serbuk A2 yang berstruktur kristal fcc, harus memperhitungkan kandungan karbon ekuivalen dari paduan yang disintesis. Dua perumusan umum untuk menghitung kandungan karbon ekuivalen (CE) diberikan pada persamaan (1) dan (2). Metode perhitungan yang digunakan untuk menentukan karbon ekuivalen ini dikenal dengan formula Ito-Bessyo [11]. Angka CE baja karbon dapat mengindikasikan sifat mampu las (*weldability*) dari bahan tersebut. Angka CE yang sangat dianjurkan untuk proses las adalah lebih besar dari 0,26%. Pada kasus bahan baja A2 non standar kandungan unsur [12] yang dipadu terdiri dari: 15,42%Cr, 25,01%Ni, 0,32%Mn, 0,96%Si dan 0,34%C dengan impuritas 0,039%V dan 0,051%Cu. Bila dihitung dengan perumusan (1) dapat diperoleh angka CE sebesar 1,58%. Angka ini bila dihubungkan dengan sumbu temperatur 1100 °C dalam diagram fasa Fe-C [8], dapat diprediksi bahwa struktur

fasa baja A2 non standar adalah γ -Fe (austenit; fcc), seperti terlihat dalam Gambar 2. Pada posisi ini proses sintering serbuk A2 dilakukan untuk mentransformasikan struktur fasa α -Fe (bcc) menjadi γ -Fe (fcc) yang diinginkan.

Pada Gambar 4a diperlihatkan pola difraksi bahan pelet baja A2 non standar hasil *scanning X-ray* dengan target Cu K- α . Pola difraksi tercampur dengan puncak-puncak asing (*stranger peaks*) yang berkontribusi diantara sudut $2\theta = 52^\circ$ sampai dengan sudut $2\theta = 74^\circ$ dan antara sudut $2\theta = 77^\circ$ sampai dengan sudut $2\theta = 90^\circ$. Boris et.al. [13] melaporkan bahwa puncak asing ini merupakan fasa *cementite* Fe₃C yang terjadi saat berlangsungnya pembentukan larutan padat karbon supersaturasi dalam α -Fe. Pembahasan lebih mendalam tentang pola difraksi α -Fe dan Fe₃C yang *dirunning* dengan metode difraksi sinar-X target Co-K α (1,789Å) dapat diperoleh dalam literatur [13]. Hasil pengolahan kuantitatif selanjutnya dengan metode Rietveld memperlihatkan bahwa: struktur fasa γ -Fe (fcc) sekitar 78% tumbuh mendominasi pola difraksi. Fasa minor lain yang merupakan fasa impuritas; sekitar 16 % fasa Fe₃C (*rhombohedral*; $a \neq b \neq c$, $\alpha = \beta = \gamma$) dan sekitar 6% adalah fasa α -Fe (bcc) yang berasal dari fasa γ -Fe (fcc) metastabil, yang kembali ke asal saat pendinginan cepat berlangsung.

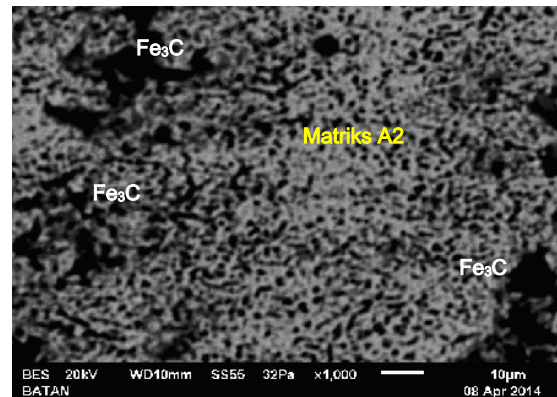


Gambar 4. Bahan pelet A2 non standar bersifat isotropis. (a)

Penghalusan pelet A2 sinter 1100°C *quench*. Tumbuh lima (5) puncak γ -Fe; (111), (200), (220), (311) dan (222). (b) Penghalusan pelet A2 sinter 1100°C *quench*, setelah menghilangkan puncak asing pada pola. *Reliability factor* ($S=1,0451$) sangat signifikan menunjukkan fasa γ -Fe. XRD Cu-target 1,5405 Å.

Gambar 4b menampilkan pola penghalusan Rietveld dari data eksperimen difraksi pelet A2 sinter 1100 °C *quench* yang telah dibersihkan dari puncak pengotor, dengan cara *excluding* atau mereduksi puncak-puncak asing yang muncul. Langkah ini dapat lebih meyakinkan dan memperbaiki perolehan statistik data dalam penghalusan (*refinements*). Penghalusan pola berhasil dilakukan, dengan perolehan parameter kisi fasa γ -Fe; $a=b=c= 3,593$ Å dan statistik faktor kecocokan (*fitting*) $R_{wp}= 22,72$ % dan *reliability* $S = 1,0451$ yang merupakan sebuah nilai angka data statistik yang sangat dapat dipercaya. Intensitas puncak sangat lemah akibat efek penyerapan permukaan bahan (*surface roughness*), sedemikian hingga lintasan sinar-X semakin panjang mengalami beberapa kali refleksi. Namun *peak to background ratio* masih terlihat dan cukup memadai untuk membedakan puncak difraksi kristal bahan. Sifat amorf bahan pelet masih terlihat di akar puncak yang melebar. Resolusi alat ($0,2^\circ$) memberikan selisih nilai *full width half maximum (FWHM)* hasil perhitungan pada bahan hingga sebesar $0,5^\circ$. Hal ini menunjukkan kemampuan bahan pada proses *alloying* tidak sempurna karena perlakuan panas yang tidak optimal. Proses *alloying* komponen penyusun paduan semestinya dilaksanakan pada temperatur leleh bahan, agar semua komponen penyusun paduan menggunakan efisiensi energi yang optimal. Fenomena ini juga berkontribusi oleh efek fluoresensi sinar-X (2^{nd} level X-ray; K_β) terhadap bahan besi (baja). Terlihat pada pola difraksi data

background yang tebal atau melebar, dimana hal ini tidak terjadi pada kasus difraksi neutron.



Gambar 5. Mikrostruktur bahan pelet A2 non standar bersifat isotropis, sinter 1100°C *quench* temperatur ruang. Koagulasi hitam adalah fasa Fe_3C dan matriks A2 berwarna putih. Pembesaran 1000x.

Gambar 5 merupakan mikro struktur permukaan bahan pelet A2 non standar yang bersifat isotropis hasil sinter 1100 °C dan di-*quench* ke temperatur ruang, diambil dengan SEM-JEOL di PSTBM BATAN Serpong. Fasa α -Fe yang berasal dari γ -Fe metastabil masih berkontribusi fasa minor bahan dan terlokalisasi di batas butir. Koagulasi atau gumpalan warna hitam tersebar diseluruh dipermukaan bahan merupakan fasa Fe_3C yang terbentuk dari kejenuhan proses reaksi padatan (*solidstate reaction*). Unsur karbon (C) yang berlebih tidak mampu berikatan dalam persenyawaan substitusi membentuk matriks A2 dan ditangkap terpisah oleh unsur besi (Fe) dalam sistem membentuk fasa minor Fe_3C . Dalam pengukuran tekstur bahan, fasa minor ini harus dihilangkan dengan cara *excluding data* saat *running* sampel di Laboratorium *Experimental Hall Reactor (XHR)*, agar dapat dibandingkan dengan data hasil *running* sampel dengan perlakuan pengerolan. Sehingga perbandingan data bahan yang diamati

adalah fasa austenit (matriks A2) murni, yakni antara yang diberi perlakuan dengan yang tidak.

SIMPULAN

Dari hasil proses preparasi bahan serbuk baja A2 non standar, yang diperlakukan *sintering-quenching* dapat disimpulkan bahwa: Efek *defocusing* dapat mengakibatkan turunnya intensitas berkas karena perubahan sudut kemiringan (*tilting*; χ). Proses transformasi fasa α -Fe (*bcc*) menjadi γ -Fe (*fcc*) dapat dilakukan dengan perlakuan termal *sintering-quenching*. Serbuk paduan A2 non standar berhasil ditransformasi dari fasa α -Fe (*bcc*) menjadi fasa γ -Fe (*fcc*) dengan poses *sintering* 1100 °C selama 6 jam dan dilanjutkan *quenching* ke temperatur ruang. Analisis Rietveld melaporkan bahwa kuantitas struktur pada bahan sampel adalah: 78 % fasa γ -Fe (*fcc*; $a=b=c$, $\alpha=\beta=\gamma$), 16 % fasa Fe₃C (*rhombohedral*; $a\neq b\neq c$, $\alpha=\beta=\gamma$) dan 6% fasa α -Fe (*bcc*; $a=b=c$, $\alpha=\beta=\gamma$) yang berasal dari fasa γ -Fe metastabil.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterima kasih kepada Dr. Azis Khan Jahja, Drs. Bambang Sugeng M.T. dan Rohmad Salam, A.Md. yang telah ikut andil dalam penelitian dan penulisan makalah ini sebagai konsultan bahasa, penanggung jawab difraktometer sinar-X dan operator tungku pembakaran.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ozgovicz W., Kurc A. (2009). *The Effect Of The Cold Rolling On The Structure And Mechanical Properties In Austenitic Stainless Steels Type 18-8*. Archives of Materials Science and Engineering Vol 38, No. 1, hal. 26-33.
- [2] Lisiecka K., Kalinowska E. Ozgovicz W. (2011). *Structure and mechanical properties of austenitic steel after cold rolling*, Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering 44/2, 148-153.
- [3] Milad M., Zreiba N., Elhalouanin F. (2008). *The effect of cold work on structure and properties of AISI 304 stainless steel*, Journal of Materials Processing Technology, Vol 203, hal. 80-85.
- [4] Klimpel, A. Lisiecki, D. Janicki (2004). *The Influence Of The Shielding Gas On The Properties Of a Laser-Melted Surface Of Austenitic Stainless Steel*. Journal of Engineering Manufacture Vol 9, hal. 1137-1144.
- [5] Effendi N. (2010). *Austenitic Type Stainless Steel Production By Foundry Technology*, Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir "Urania", PTBN-BATAN: Vol 16 No 2, hal. 69 – 77.
- [6] Azis K.J., Nurdin Effendi., M. R. Muslich (2011). *Texture Measurement by Neutron Diffraction for A1 non Standar Steel Bars*, Jurnal Sains Materi Indonesia, PTBIN-BATAN: Vol.13 No.1, hal.34-38.
- [7] Lutterotti L. , (2005), *Analisi Della Tessitura Nei Materiali Tramite Diffrazione Neutronica*, SISN 2005.
- [8] Anonymous, (2014). *Iron-Carbon Phase Diagram (a review)*, see Callister Chapter 9, MSE 300 Materials Laboratory Procedures, University of Tennessee, Dept. of Materials Science and Engineering, pp. 1-34. Retrieved 11 February 2014.
- [9] Anonymous, (2014). *Carbon equivalents (wt%) in Steel. 1.1 Carbon Equivalents And Transformation Temperature*. The Japan Welding Engineering Society. Retrieved 19 Maret 2014.

- [10] Izumi F. (1994). *Rietveld Analysis System RIETAN, A Software Package for the Pieta Analysis and Simulation of X-ray and Neutron Diffraction Patterns*, Rigaku J.6, No.1,10, Japan.
- [11] http://www.mesteel.com/cgi-bin/w3-mysql/goto.htm?url=http://www.mesteel.com/info/metal_calculators/Carbon_Equivalent_LowAlloySteels.htm. Retrieved 11 April 2014.
- [12] Parikin, Effendi N., Mugihardjo H. dan Ismoyo A. H. (2014). Studi Pengaruh Rol Panas pada Tegangan Sisa Bahan Struktur Baja A-2 Non Standar dengan Teknik Difraksi Neutron, Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakr Nuklir "Urania", proses penerbitan.
- [13] Boris B. Straumal, Sergei V. Dobatkin, Alexei O. Rodin, Svetlana G. Protasova, Andrei A. Mazilkin, Dogmar Goll and Brigitte Baretzky, (2011). *Structure and Properties of Nanograined Fe-C Alloys After Severe Plastic Deformation*, Advance Engineering Materials, Vol 13, N0.6, pp. 463-469.