

---

**PENGARUH PROSES ROL DAN PERLAKUAN PANAS PADA INGOT BAJA TAHAN KARAT  
AUSTENIT YANG MENGANDUNG UNSUR TI DAN Y TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN  
KEKERASAN**

**Saeful Hidayat**

Pusat Teknologi Nuklir Bahan dan Radiometri – BATAN  
Jl. Tamansari 71 Bandung, 40132  
E-mail : saefulhidayat57@yahoo.co.id

*Diterima: 09-12-2011  
Diterima dalam bentuk revisi: 18-01-2012  
Disetujui: 24-01-2012*

**ABSTRAK**

**PENGARUH PROSES ROL DAN PERLAKUAN PANAS PADA INGOT BAJA TAHAN KARAT AUSTENIT YANG MENGANDUNG UNSUR TI DAN Y TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN KEKERASAN.** Telah dilakukan proses pembuatan baja tahan karat austenit berbentuk ingot kancing dengan cara peleburan menggunakan tungku busur listrik. Modifikasi unsur padu dilakukan untuk mendapatkan sifat fisik dan mekanik yang lebih baik dalam hal ketahanan bahan akibat interaksi dengan media pendingin nano fluida dan reaksi panas yang terjadi di dalam reaktor nuklir. Pada penelitian ini dilakukan modifikasi unsur padu baja tahan karat SS 316L dengan menambahkan unsur titanium (Ti) dan yttrium (Y) pada berbagai konsentrasi dalam persen berat. Ingot hasil peleburan dirol dingin dengan reduksi sebesar 10 % kemudian dilakukan proses perlakuan panas di dalam tungku listrik pada temperatur 850 °C selama satu jam menggunakan gas pelindung argon. Bahan pelat hasil perolan dan perlakuan panas mempunyai kekerasan lebih tinggi 12 % dibanding kekerasan ingot hasil peleburan. Mikrostruktur bahan pelat hasil perlakuan panas adalah fase austenitik dendritik.

**Kata kunci :** SS 316L, Ti, Y, rol, perlakuan panas, mikrostruktur, kekerasan

**ABSTRACT**

**THE EFFECT OF ROLLING AND HEAT TREATMENT ON INGOT AUSTENITE STAINLESS STEEL CONTAINING TI AND Y ELEMENTS ON MICROSTRUCTURE AND HARDNESS.** Button-shaped ingot austenite stainless steel has been made by smelting process using arc furnace. The addition of alloy components was applied to the ingot to get better physical and mechanical behavior of materials' endurance, concerning to the effect of nanofluid cooling system and heat reaction in a nuclear reactor. The SS316L was added with titanium (Ti) and yttrium (Y) in various concentrations in weight percent. The new ingot resulted from alloying process was cold rolled with 10% reduction and heat treated in the furnace with argon atmosphere at 850 °C for 1 hour. The plate resulted from the cold roll and the heat treatment was found to be 12 % harder than the untreated ingot. The microstructure of the heat treated plate showed a dendritic austenite phase.

**Keywords:** SS 316L, Ti, Y, rol, heat treatment, microstructure, hardness

**1. PENDAHULUAN**

Baja tahan karat (*Stainless Steel*) adalah salah satu jenis logam yang digunakan pada reaktor nuklir sebagai

kelongsong pembungkus elemen bakar (*fuel cladding tubes*) pada reaktor jenis *Fast Breeder*. Pada reaktor HTGR (*High Temperature Gas-Cooled Reactor*), material

baja tahan karat digunakan pada komponen logam sistem reaktor (pendukung struktur teras reaktor dan bagian dalam reaktor), sistem pendingin (*conical shell, bottom, gas circulator*), penukar kalor, bejana dan sistem pendingin teras reaktor. Temperatur pengoperasian komponen-komponen tersebut adalah antara 490 °C sampai dengan 850 °C (1 - 4). *Stainless steel* dapat digunakan karena mempunyai sifat mekanik yang baik pada temperatur tinggi, mudah difabrikasi dan mempunyai ketahanan korosi yang baik (5 - 8). Pada penggunaannya di dalam reaktor, bahan ini memerlukan ketahanan terhadap tekanan dan temperatur tinggi. Ketahanan bahan terhadap pembengkakan (*swelling*) dan mulur (*creep*) pada temperatur tinggi sangat diperlukan pada saat pengoperasian reaktor.

Kecenderungan kebutuhan nilai bakar yang lebih tinggi dan penggunaan nano fluida sebagai media pendingin pada sistim pendingin reaktor nuklir (9) sekarang maupun di masa yang akan datang, menyebabkan *stainless steel* perlu dikembangkan ke arah yang lebih baik. Interaksi nano fluida sebagai media pendingin pada sistem pendingin reaktor terhadap bahan yang dilaluinya dapat mengakibatkan erosi bahan (10), sehingga ketahanan material terhadap keausan merupakan salah satu hal yang perlu diperhatikan pada pengembangan bahan ini.

Saat ini pengembangan baja tahan karat austenit banyak dilakukan oleh para peneliti di negara maju. Pengembangan bahan tersebut diantaranya adalah dengan optimasi komposisi kimia dan kondisi proses pembuatannya (perlakuan panas, ukuran

butir dan tingkat pengerolan). Pengembangan baja tahan karat austenit dengan cara modifikasi unsur padu untuk mendapatkan sifat fisik maupun mekanik diperlihatkan pada Gambar 1. Dalam rangka penguasaan teknologi pembuatan dan pengembangan logam-logam paduan, dilakukan penelitian yang mengarah pada modifikasi unsur paduan bahan *Stainless Steel* 316L (SS 316L) untuk mendapatkan sifat fisik maupun mekanik yang lebih sesuai dengan kebutuhan.

Penelitian dilakukan dengan cara optimalisasi komposisi kimia dan kondisi proses bahan melalui penambahan unsur Ti maupun Y pada SS 316L. Unsur Ti dan Y merupakan unsur penguat berbentuk larutan padat, senyawa karbida, maupun presipitat pada baja paduan (11,12).

## 2. TATA KERJA

*Stainless Steel* 316L berbentuk pelat dipotong-potong lalu ditimbang bersama-sama dengan unsur Ti maupun Y sesuai dengan keperluan, kemudian dilebur dalam tungku busur listrik. Komposisi paduan yang dilebur diperlihatkan pada Tabel 1. Masing-masing komposisi dibuat minimal 3 paduan.

Tabel 1. Komposisi paduan

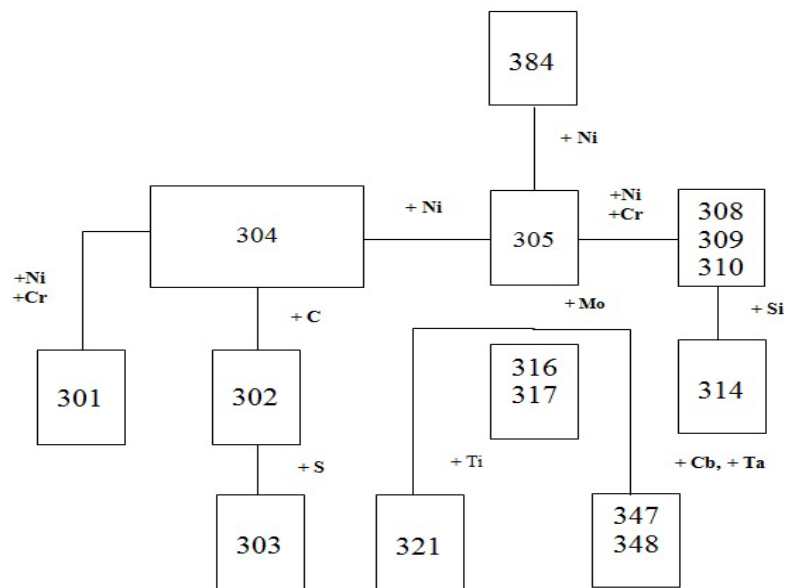
| Paduan | Komposisi                                   |
|--------|---|
| 1      | SS 316L + 0,5 % berat Ti dan 0,5 % berat Y. |
| 2      | SS 316 L + 1 % berat Ti dan 1 % berat Y     |
| 3      | SS 316 L + 1,5 % berat Ti dan 1,5 % berat Y |
| 4      | SS 316 L + 2 % berat Ti dan 2 % berat Y     |

Proses peleburan dilakukan dalam krusibel tembaga berpendingin air dengan lingkungan atmosfer argon. Peleburan

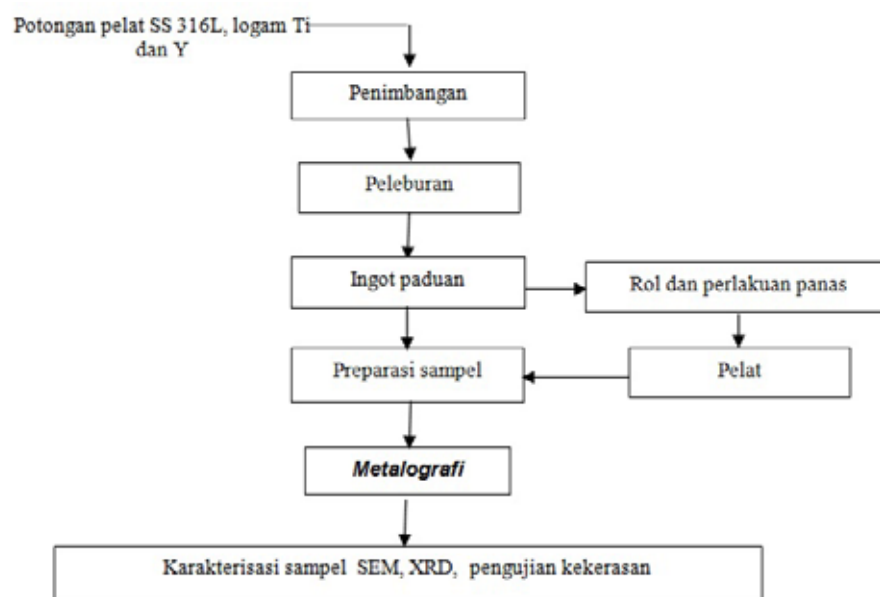
menghasilkan ingot kancing berdiameter 25 mm, tebal 10 mm yang kemudian dipreparasi untuk proses rol reduksi, metalografi, pengujian XRD dan pengujian kekerasan. Proses rol dengan reduksi 10 %, menghasilkan bahan berbentuk pelat dengan ketebalan 5 mm yang kemudian

diberi perlakuan panas di dalam tungku pemanas dengan dialiri gas pelindung argon. Pemanasan dilakukan pada temperatur 850 °C selama 1 jam.

Diagram alir percobaan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Modifikasi unsur pada bahan SS 304 (5)



Gambar 2. Diagram alir percobaan

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Proses Peleburan dan Perolan

Proses peleburan untuk pemaduan menghasilkan ingot logam paduan austenit berbentuk kancing berdiameter 25 mm, tebal 10 mm seperti diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Ingot logam hasil peleburan dan pemaduan

Ingot hasil peleburan dipreparasi untuk sampel pengujian, karakterisasi dan proses rol. Bentuk pelat hasil proses rol dari

bahan ingot diperlihatkan pada Gambar 4.

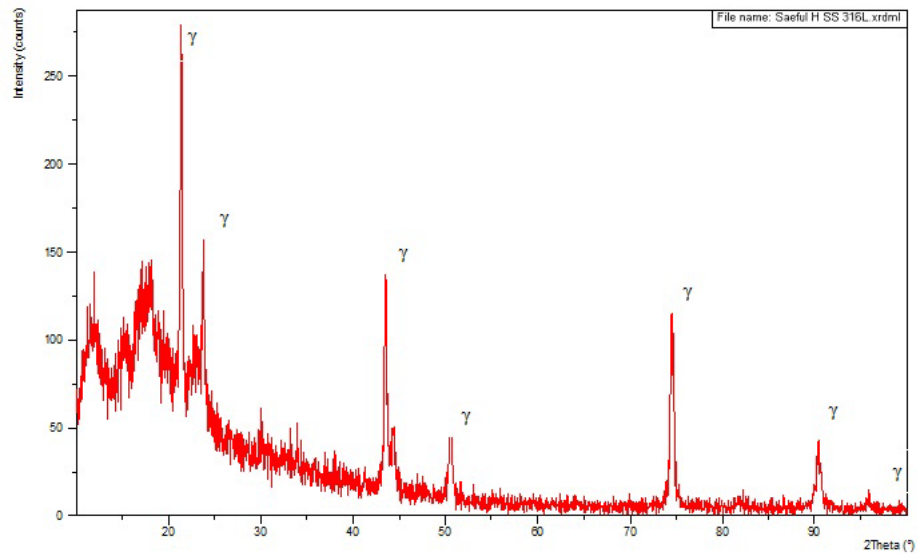
#### 3.2. Fase Ingot dan Pelat Logam Paduan

Analisis fase pada ingot logam paduan menggunakan XRD memperlihatkan adanya fase  $\gamma$  (austenit) dan fase  $\alpha$ . Fase  $\gamma$  terbentuk karena logam SS 316L sebagai logam utama yang dilebur mempunyai fase utama austenit ( $\gamma$ ). Fase  $\alpha$  terbentuk pada batas butir austenit karena adanya segregasi unsur paduan pada saat proses peleburan (13,14).

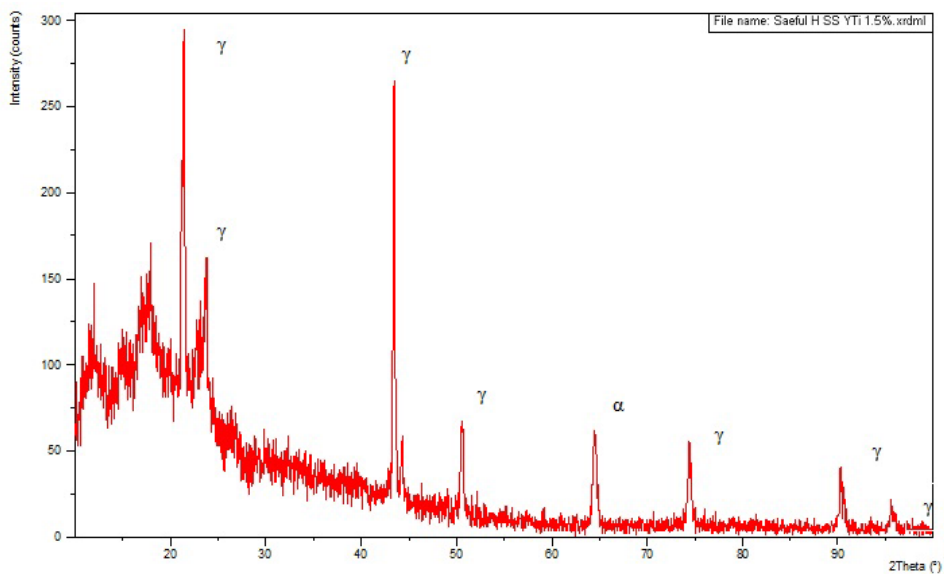
Pada Gambar 5 diperlihatkan data hasil pemeriksaan XRD pada bahan SS 316L berbentuk pelat, terlihat semua puncak berfase  $\gamma$ . Gambar 6 memperlihatkan data hasil pemeriksaan XRD pada ingot logam hasil peleburan. Pada gambar tersebut terlihat adanya puncak fase  $\alpha$  selain fase  $\gamma$ .



Gambar 4. Proses rol pada bahan ingot dan bentuk pelat yang dihasilkan



Gambar 5. Pola difraksi sinar-x logam SS 316L



Gambar 6. Pola difraksi sinar-x ingot logam hasil peleburan

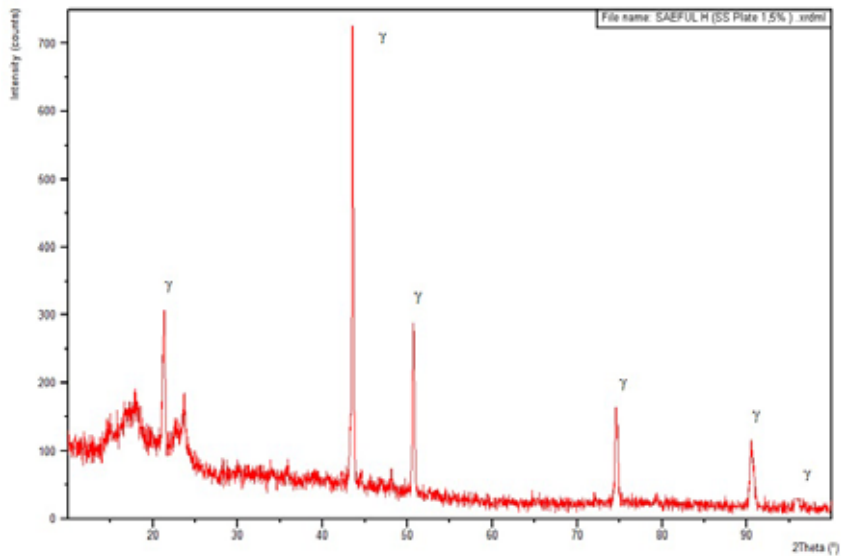
Analisis fase menggunakan XRD pada bahan pelat hasil proses rol dan perlakuan panas memperlihatkan semua puncak berfase  $\gamma$  (austenit), tidak ada puncak berfase  $\alpha$ . Hal ini menunjukkan adanya perubahan fase pada bahan ingot setelah mengalami proses rol dan perlakuan panas menjadi bahan berbentuk pelat. Perubahan ini terjadi karena segregasi

unsur pada bahan ingot telah hilang pada saat proses rol dan perlakuan panas (14).

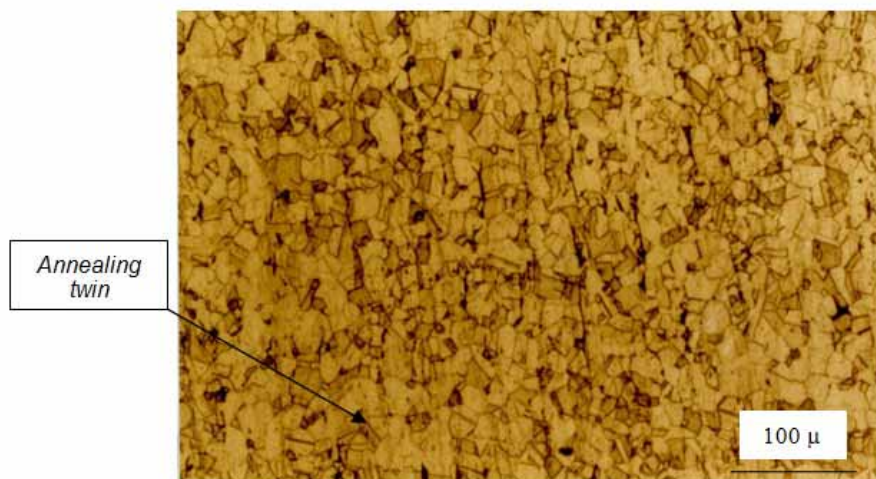
Pada Gambar 7 diperlihatkan pola difraksi sinar-x pada bahan pelat hasil rol dan perlakuan panas.

### 3.3. Struktur Mikro

Struktur mikro SS 316L dalam bentuk pelat diperlihatkan pada Gambar 8.



Gambar 7. Pola difraksi sinar-x pelat logam hasil rol dan perlakuan panas dari bahan ingot hasil peleburan.



Gambar 8. Struktur mikro paduan SS 316L dengan ukuran butir no.6 di ASTM.

Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa SS 316L mempunyai fase austenit dengan bentuk struktur mikro butir sama sumbu (*equaxed*) dan pada daerah tertentu terdapat bidang kembar hasil anil (*annealing twins*).

Proses peleburan untuk pepaduan menggunakan tungku busur listrik menghasilkan bentuk struktur inti dendritik (*dendritic core*) dan segregasi interdendritik

yang mengandung fase delta ferit dan austenit sebagai matrik pada semua paduan yang dibuat. Fase delta ferit berada di antara sel-sel dendrit. Struktur inti dendritik merupakan karakteristik dari pembekuan cepat fase austenit pada saat proses peleburan menggunakan busur api listrik (12-14). Bentuk struktur mikro tersebut diperlihatkan pada Gambar 9. Timbulnya fase-fase tersebut disebabkan oleh tipe

pembekuan paduan baja berupa ferit austenit, karena baja tersebut mempunyai harga  $Cr_{eq}/Ni_{eq}$  yang tinggi (13). Struktur dendrit timbul akibat pembekuan paduan logam dikontrol oleh laju aliran panas di daerah antarmuka padatan (cetakan) - cairan.

Temperatur antarmuka padatan-cairan cukup tinggi karena pada antarmuka tersebut terjadi pelepasan panas peleburan. Pada saat inti tumbuh ke dalam cairan pada permukaan cetakan logam cairan mengalami pendinginan yang berlebihan sehingga antarmuka tidak stabil dan akan tumbuh tonjolan sebagai lengan utama dendrit dengan arah dalam cairan. Lengan utama dendrit tumbuh pada daerah dinding cetakan yang lain sehingga lengan tersebut bertabrakan dan menghentikan pertumbuhan lengan utama dendrit. Fase delta ferit yang ada adalah ferit yang terbentuk pada saat pembekuan yang biasa terbentuk pada bahan coran (*casting*), bukan dari hasil transformasi austenit (12-14). Adanya fase delta ferit dalam paduan akan menurunkan ketahanan korosi sumur dan mempersulit proses pengerjaan panas (*hot working*) (12). Pada pemanasan dengan waktu yang lama, fase delta ferit cenderung berubah menjadi fase sigma yang bersifat keras dan getas sehingga mengurangi elastisitas (12,13).

Struktur dendritik pada bahan pelat hasil perolan pada bahan ingot yang diperlihatkan pada Gambar 10, terlihat lebih pipih dan memanjang dibanding bentuk struktur dendritik pada bahan ingot. Bentuk ini disebabkan oleh perubahan bentuk

bahan pada saat proses rol reduksi, yang mengubah bentuk struktur butir bahan menjadi pipih dan memanjang karena tekanan rol (15). Proses perlakuan panas yang dilakukan diharapkan dapat mengubah struktur butir hasil proses rol melalui mekanisme rekristalisasi, menjadi bentuk yang sama sumbu (*equiaxial*).

Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan alat uji Vicker pada batang SS 316L dan masing-masing ingot paduan yang dibuat. Kekerasan batang SS 316L adalah 209 HV dan kekerasan masing-masing ingot paduan yang dibuat diperlihatkan pada Gambar 11.

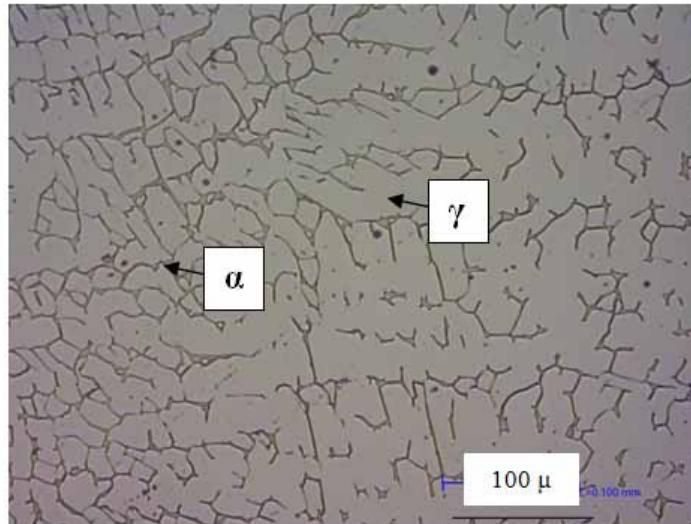
Pada Gambar 11 terlihat bahwa kekerasan ingot paduan yang mengandung unsur Ti dan Y meningkat dibandingkan dengan kekerasan SS 316L sebagai bahan dasar paduan. Makin besar persen unsur paduan yang ditambahkan, kekerasan ingot paduan makin meningkat. Bila dilihat dari struktur mikro yang terbentuk, peningkatan kekerasan terjadi diduga karena adanya struktur dendritik yang mengandung fase delta ferit yang mengalami pemanasan lama sehingga berubah menjadi fase sigma yang keras. Kekerasan bahan pelat hasil proses rol dan perlakuan panas juga lebih tinggi 12 % bila dibandingkan dengan bahan ingot. Peningkatan kekerasan ini diduga karena adanya pengerasan regang akibat proses rol (15) yang tidak dapat dihilangkan pada proses perlakuan panas yang dilakukan.

Proses perlakuan panas yang dilakukan setelah proses rol pada temperatur 850 °C selama 1 jam diharapkan dapat mengubah struktur dendritik menjadi

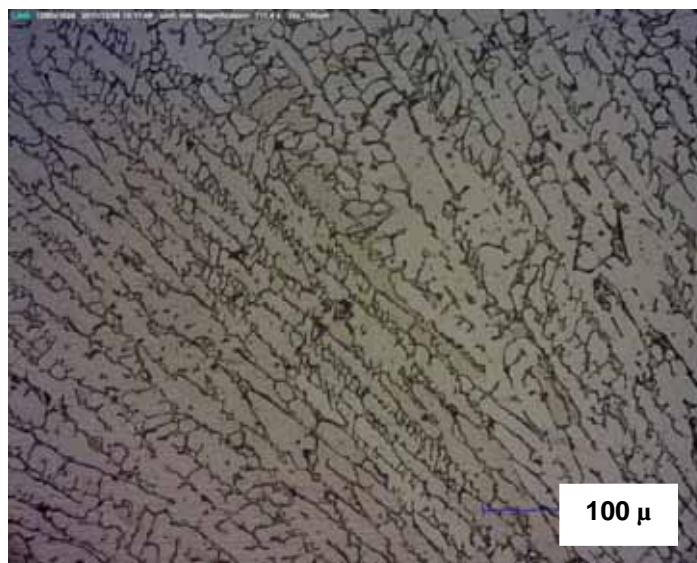


struktur butir sama sumbu (equiaxial) melalui mekanisme rekristalisasi (16), dan menghilangkan pengerasan regang akibat proses rol. Akan tetapi harapan tersebut tidak tercapai, sehingga perlu dilakukan

peningkatan temperatur perlakuan panas untuk dapat mengubah struktur bahan dan menurunkan kekerasan akibat regangan proses rol.

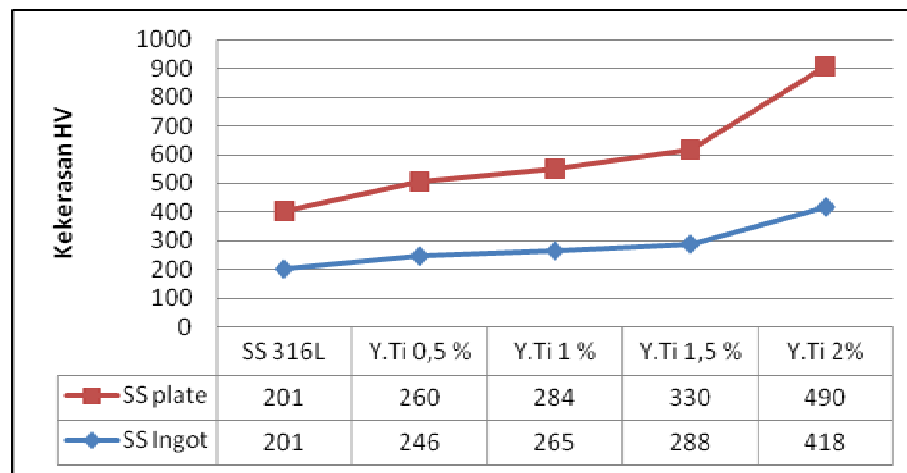


Gambar 9. Struktur mikro dendritik fase austenit batas butir delta ferit pada ingot hasil peleburan SS 316L yang ditambah unsur Ti dan Y.



Gambar 10. Struktur mikro dendritik fase austenit pada pelat hasil rol bahan ingot hasil peleburan SS 316L yang ditambah unsur Ti dan Y.





Gambar 11. Kekerasan ingot paduan dan pelat hasil rol berdasarkan persen unsur paduan yang ditambahkan.

#### 4. KESIMPULAN

Proses peleburan menggunakan tungku busur listrik untuk proses pemaduan SS 316L dengan unsur Ti dan Y, menghasilkan ingot berbentuk kancing. Ingot paduan tersebut mempunyai struktur mikro dendrit maupun segregasi interdendritik fase austenit dan delta ferit. Bentuk struktur dendrit berbeda-beda karena pengaruh proses pembekuan yang berbeda saat pendinginan. Ingot paduan yang mengandung unsur Ti dan Y mengalami peningkatan kekerasan dibandingkan dengan SS 316L, makin besar persen unsur paduan yang ditambahkan makin tinggi kekerasan ingot paduan yang dihasilkan. Proses rol reduksi pada bahan ingot sebesar 10% menjadi bentuk pelat serta proses perlakuan panas pada temperatur 850 °C selama 1 jam meningkatkan kekerasan sebesar 12 % pada bahan pelat hasil rol. Tingginya tingkat kekerasan pada bahan diperlukan untuk ketahanan aus material akibat interaksi

material dengan nano fluida.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

1. International Atomic Energy Agency. Nuclear power plant design: structure of nuclear power plant design characteristic in IAEA power reactor information system (PRIS). IAEA-TECDOC-1544. Vienna: International Atomic Energy Agency; 2007.
2. Natesan K, Purohit A, Tam SW. Materials behavior in HTGR environments. Washington: Argon National Laboratory; 2003.
3. International Atomic Energy Agency. Characterization and testing of materials for nuclear reactors. IAEA-TECDOC-1544. Vienna: International Atomic Energy Agency; March 2007.
4. Lister DH. Nuclear reactor materials and chemistry. [Online]. [cited 2012 Jan 26]; Available from: <http://www.eolss.net/Eolss-sampleAllChapter.aspx>.

5. Austenitic stainless steel. [Online]. [cited 2012 Jan 27]; Available from: [http://www.sppusa.com/reference/white\\_paper/wp\\_ss.pdf](http://www.sppusa.com/reference/white_paper/wp_ss.pdf).
6. American Society for Metal. Properties and selection: irons steels and high-performance alloys. 1st ed. Ohio: ASM; 2008.
7. Callister WD. Materials science and engineering: an introduction. 7th ed. New York: John Wiley & Son; 2007.
8. Budinski KG, Budinski MK. Engineering materials: properties and selection. 9th ed. New Jersey: Pearson; 2010.
9. Cheng L. Nanofluid heat transfer technologies. Recent Patents on Engineering 2009. 3,1-7.
10. Routbort J. Erosion of radiator materials by nanofluids. Vehicle Technologies Annual Review 2011 May 10.
11. Okamoto H. Phase diagrams for binary alloys. 2nd ed. Ohio: ASM; 2010.
12. American Society for Metal. Properties and selection: atlas of microstructures of industrial alloys. 8th ed. Ohio: ASM; 2004.
13. Shankar V, Gill TPS, Mannan SL, Sundaresan S. Solidification cracking in austenitic stainless steel welds. V 28 part 3 & 4. Madras: Sadhana; 2003 June/August. p. 359-82.
14. Sathiya P, Aravindan S, Majith P, Arivazhagan B, Noorul Haq A. Microstructural characteristics on bead plate welding of AISI 904 L super austenitic stainless steel using gas metal arc welding process. Int J Eng Sci Tech 2010;2( 6): 189-99.
15. Van Beeck J, Kouznetsova VG, Van Maris. The mechanical behaviour of metastable austenitic steels in pure bending. J Eng Sci 2011:7207-13
16. Atanda P, Fatudimu A, Oluwole O. Sensitisation study of normalized 316L stainless steel. J Min Mater Charact Eng 2010;9(1):113-23.