

PENGARUH LAJU ALIRAN GAS NITROGEN PADA TEMPERATUR 1200°C TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN KEKERASAN BAJA TAHAN KARAT AISI 430 SEBAGAI MATERIAL BIOMEDIS

Ukfan Dwi Cahya Harefa¹⁾, Alfirano²⁾, Perdamean Sebayang³⁾, Toto Sudiro³⁾ dan Didik Ariyanto³⁾

^{1),2)} Jurusan Teknik Metalurgi - Fakultas Teknik, UNTIRTA, Cilegon – Banten

³⁾ Pusat Penelitian Fisika – LIPI, Tangerang Selatan – Banten

E-mail : ukfanharefa@gmail.com

ABSTRAK

Permintaan material implan terus meningkat sejalan dengan tingginya angka kecelakaan di Indonesia. Oleh karena itu penelitian dan pengembangan biomaterial yang kompatibel untuk aplikasi biomedis menjadi penting. Pada penelitian ini akan dicoba substrat baja tahan karat feritik AISI 430 yang diberi *heat treatment* dalam suasana aliran gas nitrogen agar terdifusi pada substrat dan membentuk fasa austenit. Variabel yang diamati adalah laju aliran gas nitrogen pada temperatur 1200°C, kemudian dilihat pengaruhnya terhadap struktur mikro dan kekerasannya. Struktur mikro diamati dengan menggunakan mikroskop optik, *scanning electron microscope-energy dispersive spectroscopy* (SEM-EDS) dan *x-ray diffraction* (XRD), sedangkan kekerasannya diukur dengan menggunakan *micro vickers hardness*. Dari hasil pengamatan menunjukkan bahwa munculnya pola anil twin menandakan terbentuknya fasa austenitik, distribusi nitrogen cukup merata pada substrat sebesar 13,92-29,68 % berat dan terbentuk 8,65-9,69% fasa austenit. Tingkat kekerasan substrat baja tahan karat feritik AISI 430 semula sekitar 161,79 HV meningkat menjadi 547,15 HV setelah dilakukan proses *heat treatment* pada temperatur 1200°C, dengan laju aliran gas nitrogen 0,94 liter/detik, selama 7 jam dan tekanan 500 Psi. Berdasarkan hasil tersebut memungkinkan untuk dapat dipertimbangkan sebagai material biomedis.

Kata Kunci: austenit, *heat treatment*, baja tahan karat feritik AISI 430, biomedis, nitrogen.

1. Pendahuluan

Biomaterial adalah material yang digunakan dalam bidang medis dan dapat melakukan kontak dengan jaringan hidup. Biomaterial dikatakan memiliki biokompatibilitas yang bagus ialah tidak bersifat racun, tidak menyebabkan kanker, alergi dan inflamasi berkelanjutan, dan bersifat inert dan tahan terhadap korosi [1,2]. WHO melansir pada tahun 2011, 67 % korban kecelakaan lalu lintas berada pada usia produktif yaitu 22-50 tahun [3]. Penggunaan biomaterial diharapkan dapat memperbaiki kualitas hidup seseorang akibat kecelakaan lalu lintas. Biomaterial tipe logam merupakan bahan implan yang paling banyak digunakan yaitu 70-80 % dari semua jenis implan yang ada [4,5]. Penggunaan material implan berbahan logam tipe 18-8 pertama kali digunakan pada tahun 1895 pada kasus patah tulang. Hingga saat ini material implan berbahan logam berkembang menjadi 3 tipe yaitu baja tahan karat, Paduan Co-Cr-Mo dan paduan titanium [6].

Baja tahan karat yang digunakan untuk implan umumnya ialah tipe 316L (baja tahan karat austenitik). Baja tipe ini paling banyak digunakan di Indonesia karena harganya yang murah daripada material implan logam lainnya dan juga memiliki sifat mekanis dan ketahanan korosi yang baik. Namun adanya kandungan nikel yang merupakan elemen berisiko tinggi pada tubuh menimbulkan alergi dan toksik [7]. Lepasnya sejumlah ion nikel dari material tersebut, terjadi pada 20% wanita di Eropa yang menyebabkan alergi pada kulit membuat berkurangnya nilai biokompatibilitas. Hal tersebut membuat implan ini tidak dapat digunakan dalam waktu yang lama. Adanya pembedahan lanjutan untuk mengganti implan tersebut sebelum terjadinya komplikasi dari lepasnya ion nikel. Oleh karena itu diperlukan penelitian untuk menggantikan unsur nikel dengan unsur nitrogen pada baja tahan karat sebagai penstabil fasa austenit (γ) [8,9].

Nitrogen merupakan penstabil fasa austenit paling kuat dan 18 kali lebih efisien jika dibandingkan dengan unsur lainnya seperti nikel. Hal ini dapat menghemat biaya pembuatan baja tahan karat

asutenitik untuk implan karena harga nikel yang jauh lebih mahal dibandingkan dengan nitrogen. Untuk penggunaan nitrogen sebanyak 1 kg menggantikan 6-20 kg penggunaan nikel [9,10,11]. Pengaruh penambahan unsur nitrogen dapat meningkatkan kekuatan luluh dan kekuatan tarik, daktilitas yang baik, sifat pengerasan regangan yang baik dan ketahanan yang tinggi terhadap korosi [12]. Unsur seperti nitrogen sangat efektif dalam meningkatkan kekuatan akibat adanya mekanisme *solid solution strengthening*.

Penambahan nitrogen selain mengurangi biaya pembuatan dan menggantikan unsur nikel namun dapat juga meningkatkan sifat mekanis dan ketahanan terhadap korosi dan diharapkan lebih baik dibandingkan dengan material sebelumnya. Perlakuan pengaliran gas nitrogen pada temperatur 1200°C diharapkan adanya transformasi fasa pada material baja tahan karat feritik 430 menjadi baja tahan karat austenit akibat pengaruh aliran nitrogen. Hal ini juga dapat membantu pemerintah Indonesia dengan adanya undang-undang No. 24 tahun 2011 tentang badan penyelenggara jaminan sosial dalam memproduksi produk implan lokal dengan menghemat 30-40% [13].

2. Prosedur Percobaan

2.1 Preparasi Spesimen

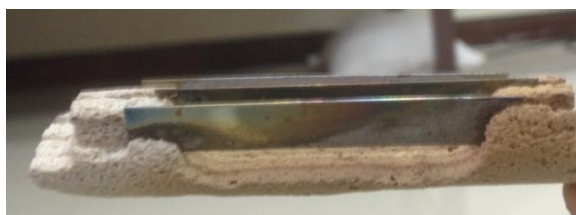
Baja tahan karat feritik AISI 430 dalam bentuk pelat dengan tebal 0,4 mm dipotong dengan mesin *shearing* menjadi ukuran panjang 50 mm dan lebar 5 mm. Tabel 2.1 menunjukkan komposisi dari kimia baja tahan karat AISI 430.

Tabel 2.1 Komposisi Kimia Baja Tahan Karat Feritik AISI 430 [14]

UNS No	Komposisi Kimia					
	C	Si	Mn	P	S	Cr
S43000	0,12	1,00	1,00	0,04	0,03	16-18

2.2 Perlakuan Panas Dengan Aliran Gas Nitrogen

Spesimen dibersihkan dengan ultrasonik *cleaner* dengan larutan etanol selama 300 detik. Setelah itu spesimen diletakkan dengan dudukan bata tahan api. Dapat dilihat pada Gambar 2.1. Kemudian spesimen dimasukkan kedalam *tube furnace*, lalu menyalakan gas nitrogen selama 5 menit sebelum pemanasan agar terbebas dari udara lain. Selanjutnya Pemanasan menggunakan variasi laju alir dapat dilihat pada Tabel 2.2 dengan temperatur 1200°C selama 5 dan 7 jam. Setelah waktu tahan telah tercapai dilakukan pendinginan cepat dengan media air.



Gambar 2.1 Posisi Peletakkan Pemanasan Spesimen

Tabel 2.2 Pemanasan Dengan Aliran Gas Nitrogen

Temperatur (°C)	Laju Aliran (l/detik)		
	1200	0,73 (300 Psi, 5 jam)	0,97 (400 Psi, 5 Jam)
0,57 (300 Psi, 7 jam)		0,76 (400 Psi, 7 Jam)	0,94 (500 Psi, 7 jam)

2.3 Karakterisasi Spesimen

Karakterisasi spesimen dilakukan untuk mengetahui perubahan baik sebelum dan sesudah proses perlakuan pemanasan dengan aliran gas nitrogen. Proses tersebut terbagi menjadi 4, yaitu:

2.3.1 Pengamatan Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro dilakukan dengan menggunakan alat mikroskop optik merk Olympus. Proses yang dilakukan yaitu spesimen di *mounting* dengan menggunakan resin yang ditambahkan *hardener*, kemudian dilakukan proses *grinding* dengan amplas grit 400, 500, 600, 800, 1000, 1200, 1500 dan 2000, dilanjutkan dengan proses *polishing* dengan menggunakan pasta TiO₂ kemudian dibersihkan dengan air dan etanol. Spesimen kemudian di etsa dengan menggunakan *etchant* Vilella. Setelah itu dilakukan pengamatan dengan mikroskop optik perbesaran 200x, 500x dan 1000x.

2.3.2 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan dari spesimen baja tahan karat feritik AISI 430 sebelum dan sesudah pemanasan dengan gas nitrogen. Pembebanan yang dilakukan sebesar 300 gF selama 20 detik dengan alat *micro vickers hardness* merk Leco.

2.3.3 Pengamatan XRD

Pengamatan XRD (*X-Ray Diffraction*) menggunakan mesin merk Rigaku. Analisa ini dilakukan untuk mengetahui fasa dan senyawa yang terbentuk sebelum dan sesudah pemanasan. Analisis profil difraktometer sinar-x yang diperoleh dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak program SmartLab dengan mencocokkan data ICDD (*International Centre for Diffraction Data*). ICDD No. 00-003-0970 dan 00-031-0619 untuk baja tahan karat austenitik dan ICDD No. 00-034-0396 untuk baja tahan karat feritik. Setelah itu, dilakukan analisa hasil XRD pada puncak grafik menggunakan program perangkat lunak *Match (trial version)*.

2.3.4 Pengamatan SEM-EDS

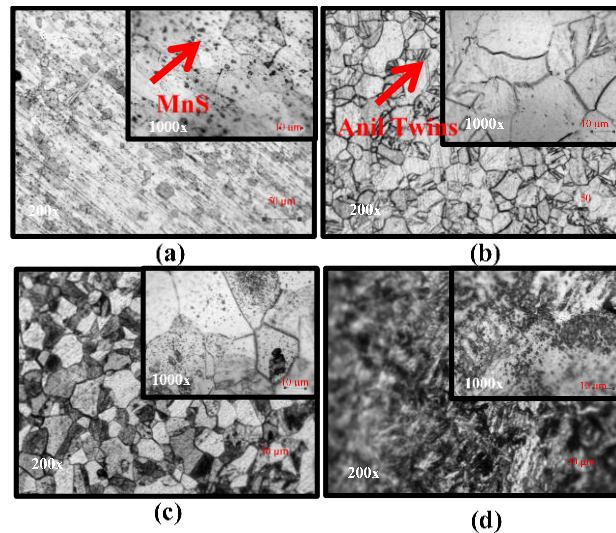
Pengamatan SEM-EDS (*Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive Spectroscopy*) menggunakan mesin merk Hitachi. SEM-EDS dilakukan untuk pada patahan spesimen dan untuk mengetahui kedalaman nitrogen serta unsur yang terdapat pada spesimen baja tahan karat feritik AISI 430 setelah pemanasan. Foto hasil SEM dilakukan EDS melalui proses *mapping* dan *point analysis*. Proses *mapping* untuk mendeteksi unsur dilakukan secara otomatis namun pemilihan untuk spektrum warna dipilih secara manual. Untuk proses *point analysis*, titik (*point*) yang akan dilakukan analisa dipilih secara manual kemudian hasil berupa kandungan unsur-unsur muncul secara otomatis.

3. Hasil dan Pembahasan

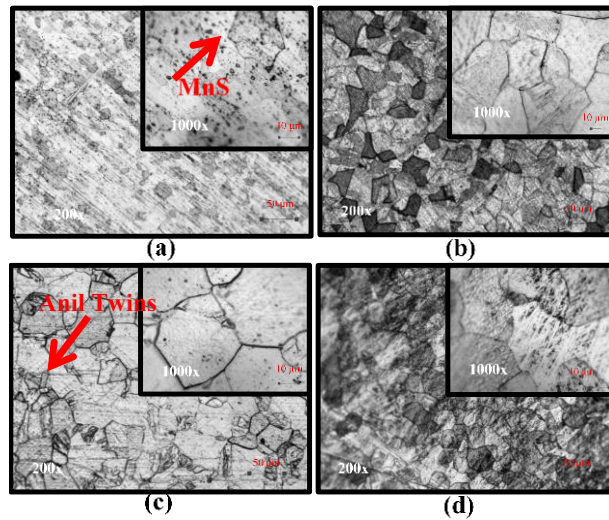
Gambar 3.1 dan 3.2 merupakan hasil pengamatan mikroskop optik pada perbesaran 200x dan 1000x. Gambar (a) yang terdapat pada Gambar 3.1 dan 3.2 terlihat adanya sebaran titik-titik berwarna hitam yang tersebar secara merata pada penampang butir mengindikasikan bahwa adanya sebaran globular mangan sulfida (MnS). Pada tipe baja tahan karat AISI 430 memiliki sejumlah kandungan unsur sulfur untuk meningkatkan kemampuan mesin dari material tersebut [15].

Dalam penelitian pada Gambar 3.1 b dan 3.2 c mengindikasikan terbentuknya anil *twins* akibat difusi nitrogen ke dalam material baja tahan karat feritik AISI 430. Hal tersebut merupakan peristiwa berubahnya fasa ferit menjadi fasa austenit. Batas butir kembar (*twins*) terbentuk akibat transformasi bentuk butir yang dikarenakan proses anil maupun hasil deformasi [16].

Fenomena yang terjadi pada Gambar 3.1 dan 3.2 dengan perbesaran yang sama, ukuran butir dari spesimen dengan waktu 7 jam, Gambar 3.2 (c) (1200°C : 0,76 l/detik) lebih besar dibandingkan dengan spesimen waktu penahanan 5 jam, Gambar 3.1 (b) (1200°C : 0,73 l/detik), hal ini dikarenakan butir austenit sangat kecil ketika pertama kali terbentuk namun butir akan tumbuh seiring meningkatnya temperatur dan waktu pemanasan [17]



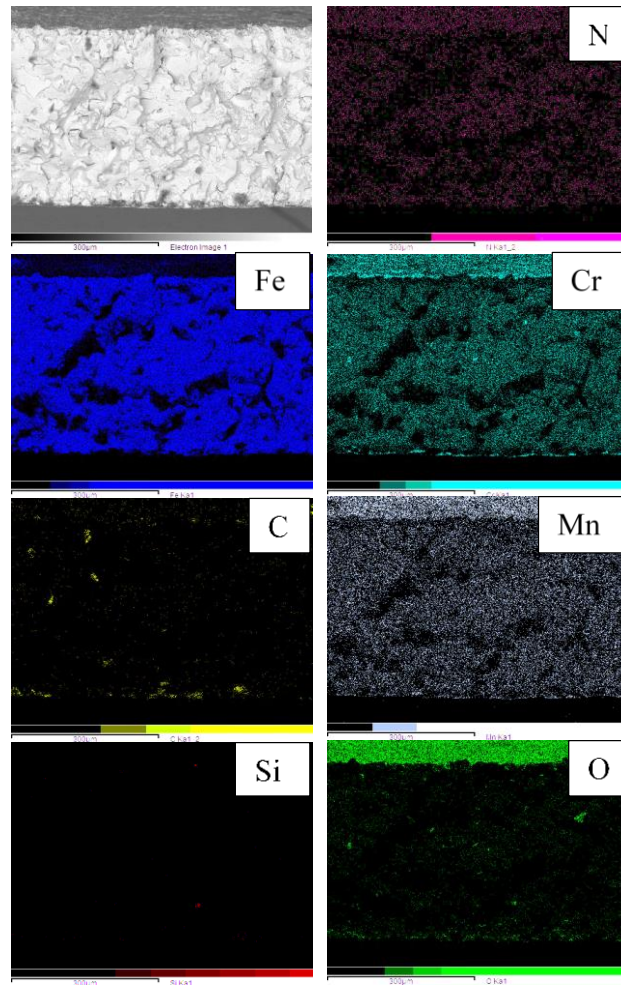
Gambar 3.1 Struktur Mikro Baja Tahan Karat Sebelum dan Sesudah Pemanasan (a) tanpa perlakuan: (b) 1200°C : 0,73 l/detik, (c) 1200°C : 0,97 l/detik dan (d) 1200°C : 1,22 l/detik



Gambar 3.2 Struktur Mikro Baja Tahan Karat Sebelum Dan Sesudah Pemanasan (a) tanpa perlakuan: (b) 1200°C : 0,57 l/detik, (c) 1200°C : 0,76 l/detik, dan (d) 1200°C : 0,94 l/detik

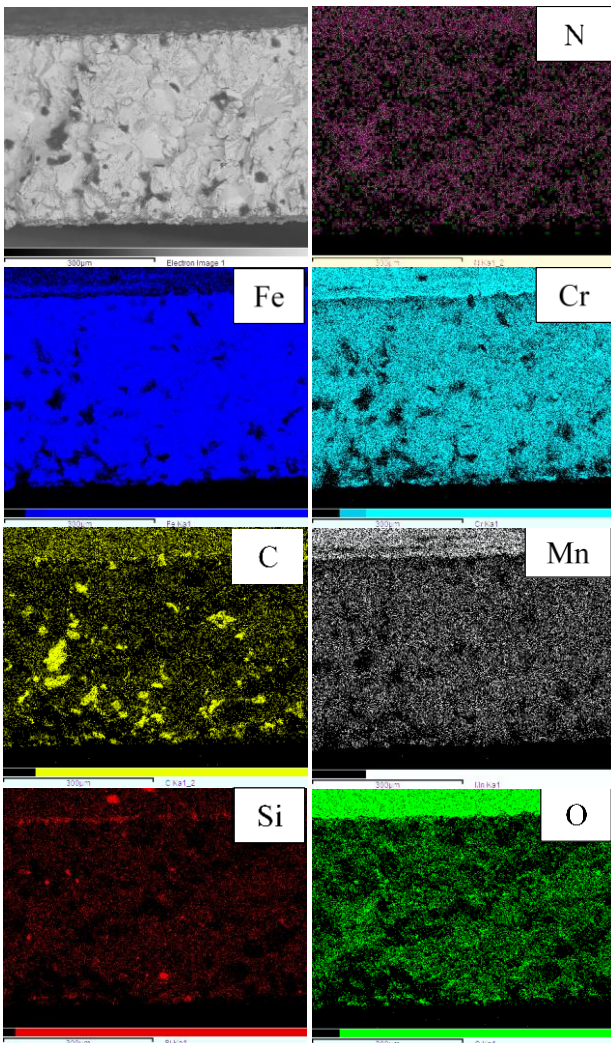
Gambar 3.3 dan 3.4 merupakan hasil analisa SEM-EDS yang dilakukan *mapping* pada spesimen dengan perlakuan pemanasan (1200°C : 0,97 l/detik) selama 5 jam dan (1200°C : 0,76 l/detik) selama 7 jam untuk mengetahui sebaran unsur nitrogen dalam penelitian ini. Pada Gambar 3.3 dan 3.4 terlihat sebaran nitrogen terdistribusi secara merata pada spesimen baja tahan karat feritik AISI 430 secara melintang (*cross section*).

Pengaruh penambahan unsur nitrogen yang dilakukan dengan pemanasan pada temperatur 1200°C dan variasi laju alir pada waktu tahan 5 dan 7 jam dalam material baja tahan karat feritik AISI 430 dapat merubah morfologi struktur mikro spesimen yang diketahui dari hasil *mapping* dibawah ini adanya sebaran nitrogen yang merata.



Gambar 3.3 Hasil *Mapping* SEM-EDS Spesimen Dengan Perlakuan (1200°C : 0,97 l/detik)

Disisi lain terbentuknya lapisan oksida yaitu kromium-mangan (Cr-Mn) oksida. Hal tersebut dapat terjadi karena kromium dan mangan memiliki afinitas yang tinggi terhadap oksigen pada diagram Ellingham [18]. Akan tetapi diprediksi kromium oksida terbentuk lebih dahulu dan diikuti mangan oksida. Hal ini dikarenakan pada sampel baja tahan karat feritik AISI 430, kromium memiliki kadar sebesar 16-18 % dan mangan 1%.

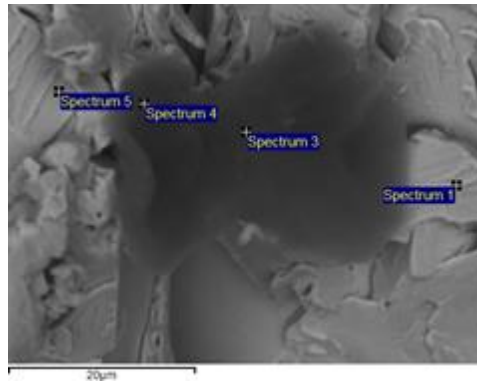


Gambar 3.4 Hasil *Mapping* SEM-EDS Spesimen Dengan Perlakuan ($1200^{\circ}\text{C} : 0,76$ l/detik)

Hasil *mapping* juga menunjukkan adanya distribusi C pada permukaan spesimen yang ditunjukkan pada Gambar 3.4, mengindikasikan terbentuknya kromium karbida (Cr-C). Ada karbida pada permukaan menunjukkan indikasi adanya kebocoran selama proses perlakuan panas dengan aliran nitrogen.

Pada hasil SEM-EDS metode *point analysis* dapat dilihat pada Gambar 3.5 dan 3.6. Gambar tersebut menunjukkan daerah yang berwarna gelap terdapat unsur nitrogen didalamnya. Adanya sejumlah kandungan nitrogen didalamnya mengindikasikan nitrogen telah terdifusi didalam spesimen baja tahan karat feritik AISI 430. Peristiwa tersebut diperkuat dengan hasil yang SEM-EDS yang dilakukan Mohammadzadeh [16]. Adanya kandungan nitrogen pada substrat spesimen ini mengindikasikan morfologi struktur mikro ferit yang bertransformasi menjadi struktur mikro austenit.

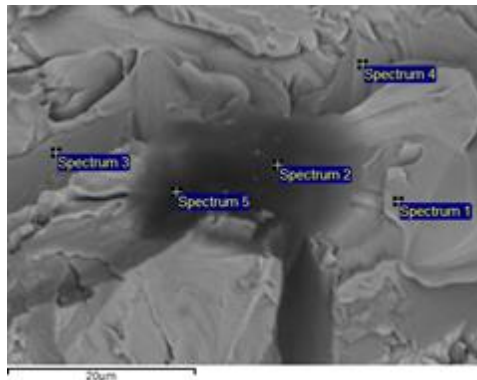
Tabel 3.1 dan 3.2 menunjukkan jumlah persen berat unsur yang terkandung dari hasil pemanasan dengan *point analysis* yang diuji pada daerah gelap (terdapat unsur nitrogen) maupun daerah terang (tidak terdapat persen berat nitrogen). Persen berat nitrogen dari kedua spesimen tersebut sebesar 13,92-29,68 % berat yang terdapat pada spektrum 2,3 dan 4 untuk perlakuan pemanasan $1200^{\circ}\text{C} : 0,97$ l/detik dan spektrum 2 dan 5 pada perlakuan pemanasan $1200^{\circ}\text{C} : 0,76$ l/detik.



Gambar 3.5 Hasil *Point Analysis* SEM-EDS Spesimen Dengan Perlakuan ($1200^{\circ}\text{C} : 0,97 \text{ l/detik}$)

Tabel 3.1 Hasil *Point Analysis* SEM-EDS Spesimen Dengan Perlakuan ($1200^{\circ}\text{C} : 0,97 \text{ l/detik}$)

Unsur	Spektrum (SP) untuk % Berat Unsur				
	SP 1	SP 2	SP 3	SP 4	SP 5
Fe	73,06	13,63	14,52	8,78	80,39
Cr	15,21	3,52	3,74	2,26	17,75
C	10,93	46,96	48,86	47,85	0,89
Mn	0,49	0,17	-	-	0,76
Si	0,32	0,3	0,35	0,16	0,07
O	-	13,51	13,02	16,97	0,14
N	-	21,55	19,17	23,68	-
S	-	0,36	0,34	0,3	-
Total	100	100	100	100	100



Gambar 3.6 Hasil *Point Analysis* SEM-EDS Spesimen Dengan Perlakuan ($1200^{\circ}\text{C} : 0,76 \text{ l/detik}$)

Tabel 3.2 Hasil *Point Analysis* SEM-EDS Spesimen Dengan Perlakuan ($1200^{\circ}\text{C} : 0,76 \text{ l/detik}$)

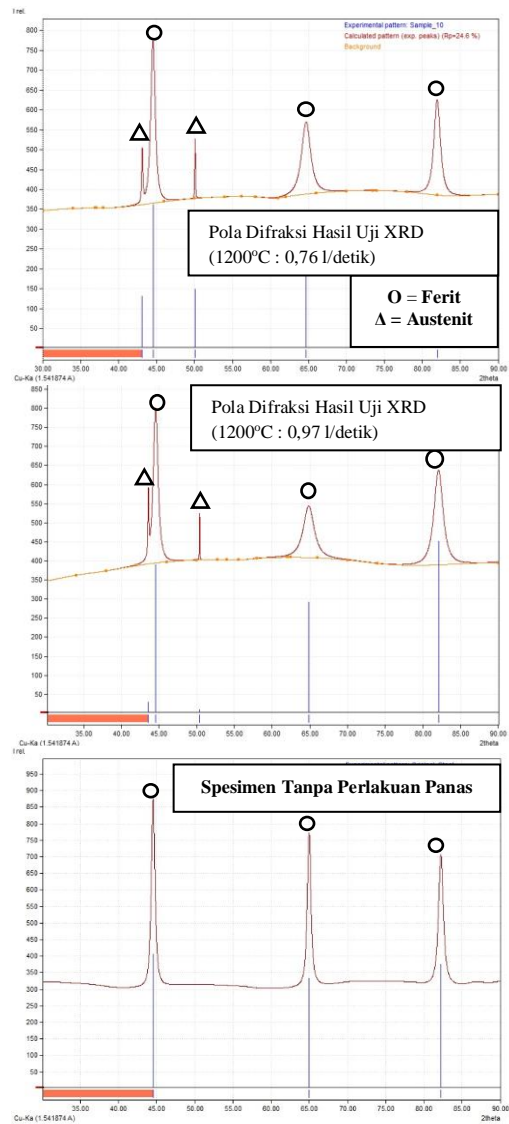
Unsur	Spektrum (SP) untuk % Berat Unsur				
	SP 1	SP 2	SP 3	SP 4	SP 5
Fe	72,42	19,26	69,68	71,75	16,33
Cr	15,64	4,96	14,73	15,81	4,02
C	11,13	47,34	12,43	11,58	50,15
Mn	0,43	-	0,59	0,44	-
Si	0,38	0,21	0,4	0,42	0,36
O	-	13,41	2,17	-	14,94
N	-	14,58	-	-	13,92
S	-	0,23	-	-	0,28
Total	100	100	100	100	100

Perlakuan panas pada baja tahan karat feritik AISI 430 dengan mengalir gas nitrogen pada beberapa variasi aliran gas nitrogen membuat terbentuknya fasa gamma. Pada Gambar 3.7 menunjukkan hasil analisa XRD yang dilakukan pada perlakuan panas $1200^{\circ}\text{C} : 0,97 \text{ l/detik}$ dan $1200^{\circ}\text{C} : 0,76 \text{ l/detik}$. Penambahan unsur nitrogen ke dalam spesimen dapat menurunkan persen fraksi volume fasa ferit [12].

Untuk mengetahui jumlah persen fraksi volume fasa dari hasil XRD menggunakan persamaan Hanawalt, sebagai berikut [19]

$$\% \text{Fraksi Volume} = \frac{\text{Intensitas fasa yang dicari}}{\text{Jumlah intensitas fasa yang terdeteksi sinar x}} \times 100$$

Persentase fraksi ferit pada sampel tanpa perlakuan didapatkan 100 % fraksi volume fasa ferit. Untuk persentase fraksi volume dari spesimen perlakuan panas 1200°C : 0,97 l/detik selama 5 jam munculnya fasa austenit sebesar 8,65% dan fasa ferit 91,35%. Untuk 1200°C : 0,76 l/detik selama 7 jam munculnya fasa austenit sebesar 9,69% dan fasa ferit 90,31%. Lamanya waktu penahanan perlakuan panas mengindikasikan meningkatnya fasa austenit menjadi lebih besar. Hasil ini tidak terjadi perubahan fasa austenit secara menyeluruh karena masih adanya fasa ferit yang terdapat pada hasil XRD spesimen baja tahan karat feritik AISI 430.

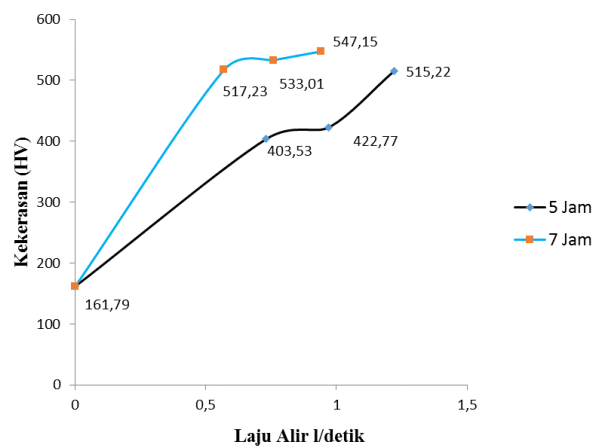


Gambar 3.7 Hasil Analisa XRD Pada Spesimen Tanpa Perlakuan dan Spesimen Dengan Perlakuan (1200°C : 0,97 l/detik dan 1200°C : 0,76 l/detik

Hasil pengujian kekerasan menunjukkan kekerasan meningkat seiring dengan bertambahnya laju alir nitrogen dan lamanya waktu pemanasan yang digunakan. Peningkatan laju alir nitrogen dan waktu tahan pemanasan membuat nilai kekerasan meningkat secara linear dapat dilihat pada Gambar 3.8

Meningkatnya unsur nitrogen dapat meningkatkan kekerasan dengan semakin lama waktu tahan dan tingginya temperatur pemanasan mengakibatkan mekanisme *solid solution strengthening* [20,21]. Laju alir (0,73; 0,97 dan 1,22 l/detik) dengan waktu tahan 5 jam nilai kekerasan didapat (403,53; 422,77

dan 515,22 HV). Hasil ini lebih rendah bila dibandingkan dengan laju alir (0,57; 0,76 dan 0,94 l/detik) dengan waktu tahan 7 jam nilai kekerasan didapat (517,23; 533,01 dan 547,15 HV).



Gambar 3.8 Grafik Hasil Pengujian Kekerasan Mikro Vickers

Nitrogen dikenal sebagai unsur interstisi yang dapat menstabilkan fasa austenit sehingga dengan proses perlakuan panas dengan mengalir gas nitrogen selama pemanasan, gas nitrogen akan terdisosiasi menjadi atom nitrogen. Kemudian atom tersebut berdifusi kedalam material baja tahan karat feritik AISI 430. Atom nitrogen masuk secara interstisi pada kisi fcc. Hal tersebut menjadikan transformasi fasa dari ferit menjadi austenit dan ikut serta meningkatkan kekuatan dan kekerasan baja tahan karat. [11,21,22]

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan bahwa:

- Meningkatnya laju alir gas nitrogen dan waktu tahan pada temperatur *heat treatment* tetap mengakibatkan terjadinya perubahan morfologi struktur mikro yang ditunjukkan dengan adanya anil *twins*.
 - T = 1200°C, Q = 0,73 l/detik, t = 5 jam
 - T = 1200°C, Q = 0,76 l/detik, t = 7 jam.
- Hasil XRD menunjukkan pada;
 - Fraksi γ = 8,65% dan α = 91,35%, pada T = 1200°C, Q = 0,97 l/detik, t = 5 jam
 - Fraksi γ = 9,69% dan α = 90,31%, pada T = 1200°C, Q = 0,76 l/detik, t = 5 jam
- Hasil karakterisasi SEM–EDS menunjukkan adanya distribusi nitrogen pada permukaan substrat baja tahan karat feritik AISI 430 sebesar 13,92-29,68 % berat.
- Nilai kekerasan pada *stainless steel ferritic* AISI 430;
 - Tanpa Perlakuan Panas = 161,79 HV
 - Maksimum pada T = 1200°C, Q = 0,94 l/detik, t = 7 jam diperoleh sebesar 547,15 HV

Daftar Pustaka

- Joon, Park. Lakes R.S. 2007. Biomaterials – An Introduction. Springer Science + Business Media. LLC. New York – USA.
- Ratner, Buddy. Et al. 2013. Biomaterials Science - An Introduction to Materials in Medicine 3rd Edition. Elsevier. Canada.
- <http://www.bin.go.id/awas/detil/197/4/21/03/2013/kecelakaan-lalu-lintas-menjadi-pembunuh-terbesar-ketiga> (diakses pada tanggal 30 november 2015).
- Pignatello, Rosario. 2011. Biomaterials Science And Engineering. InTech – Croatia.
- Hanawa, T. 2010. Overview of Metals and Applications. Tokyo Medical and Dental University – Tokyo.
- Hermawan, Hendra Et al. 2011. Metals for Biomedical Applications. Universiti Teknologi Malaysia – Faculty of Biomedical Engineering and Health Science. Intechopen – Malaysia.
- Niinomi, Mitsuo. 2010. Metals For Biomedical Devices. Woodhead Publishing Limited. CRC Press UK.

- [8] Kuroda, Daisuke. Et al. 2003. New Manufacturing Process Of Nickel Free Austenitic Stainless Steel With Nitrogen Absorption Treatment. *Material Transactions*, Vol. 44 No.3 (2003) pp 414-420.
- [9] Eschbach, Lukas Et al. 2003. Fatigue of Small Bone Fragment Fixation Plates Made from Low Nickel Steel. *Stainless Steel for Medical and Surgical Applications*, ASTM STP 1438, G.L. Winters and M.J. Nut, Eds., ASTM International, West Conshohocken, PA, 2003.
- [10] Machovcak, Pavel Et al. 2014. Nitrogen Alloying of High Chromium Steels by Gas Injection in the Ladle. *Acta Metallurgica Slovaca – Conference*, Vol. 4, 2014, p. 152-159.
- [11] Ahmed, A Et al. 2011. Influence of Partial Replacement of Nickel by Nitrogen on Microstructure and Mechanical Properties of Austenitic Stainless Steel. Steel and Ferrous Alloys Department, Central Metallurgical Research and Development Institute, Helwan 11421, Egypt. Physics Department, Faculty of Science, Al-Azhar University, Nasr City, Cairo 11884, Egypt.
- [12] Lai, Joseph Ki Leuk Et al. 2012. *Stainless Steel : An Introduction and Their Recent Development – Chapters 7. High Nitrogen Stainless Steel*. China.
- [13] http://www.bpjs.info/kesehatan/Implan_Generic_Dukungan_Pharos_untuk_Pelaksanaan_BPJS-5526/ (diakses pada tanggal 30 november 2015).
- [14] ASM Handbook Vol. 9. 2004. *Metallography and Microstructure*. ASM International.
- [15] Bramfitt, Bruce L. Arlan O Benscoter. 2002. *Metallographer's Guide : Practices and Produces for Irons and Steels*. ASM International.
- [16] Mohammadzadeh, Roghayeh, Alireza Akbari. 2014. Grain Refinement Of A Nickel And Manganese Free Austenitic Stainless Steel Produced By Pressurized Solution Nitriding. *Materials Characterization*.
- [17] Herring, Daniel H. 2005. Grain Size and It's Influence on Materials Properties. *The Heat Treat Doctor* (diakses *online* via IndustrialHeating.com).
- [18] Mitchell, Brian S. 2003. *An introduction to Materials Engineering and Science for Chemical and Materials Engineering*. John Wiley and Sons. USA.
- [19] Sholihah, Lia Kurnia. 2010. Sintesis dan Karakteristik Partikel Nano Fe₃O₄ yang Berasal dari Pasir Besi dan Fe₃O₄ Bahan Komersial (Aldrich). Institut Teknologi Sepuluh Nopember–Surabaya.
- [20] Nakada, Nobuo Et al. 2007. Grain refinement of nickel-free high nitrogen austenitic stainless steel by reversion of eutectoid structure. Department of Material Science and Engineering – Kyushu University - Japan.
- [21] Suprihanto, Agus Et al. 2013. Corrosion Resistance of AISI 316L after Short Holding Time of High Temperature Gas Nitriding (HTGN). Department of Mechanical Engineering–University of Gadjah Mada. Indonesia.
- [22] Talha, Mohd. Et al. 2015. Effect Of Nitrogen And Cold Working On Structural And Mechanical Behavior Of Ni-Free Nitrogen Containing Austenitic Stainless Steels For Biomedical Applications. *Science Direct. Materials Science and Engineering C* 47 pp 196-203.