

Pengaruh Temperatur Anil Pada Paduan Fe-Al-Mn Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan, Dan Ketahanan Aus

Josua Sepryanto¹, Ratna Kartikasari^{2,*}, Angger Bagus Prasetyo³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta
Jalan Babarsari, Caturtunggal Depok Sleman, Yogyakarta, 55281

*Corresponding author: ratna@itny.ac.id

Abstract

The purpose of this study was to analyze the effect of annealing temperature on Fe- 8.9Al-11.6Mn alloy on microstructure, hardness, and wear resistance. The research stage starts from the preparation of specimens, namely cutting Fe-8.9Al-11.6Mn alloy with a length of 20.5cm, width of 3cm, height of 3cm. The annealing process is carried out by heating at temperatures of 850 0 C, 900 0 C, 9500 C, 1000 0 C, and 10500C then cooled slowly in the kitchen (furnace). Then the tests are carried out, namely microstructure tests, Hardness tests with the Vickers test method, and wear resistance tests with the Ogoshi method. The results of chemical composition testing showed that the Fe-Al-Mn alloy in this study contained the main element iron (Fe) of 76.31%, the main alloy element of aluminum (Al) by 8.90% and manganese (Mn) by 11.64%, and silicon (Si) by 1.63%. The total number of alloying elements is 23.69% so fe-al-Mn alloys belong to high-alloy steels. The results of the microstructure test showed that the higher the temperature of the annealing process, it caused the ferrite grains to enlarge and be evenly distributed between the austenite grains and the dendrites pattern would disappear. The results of the hardness test with the Vickers method showed that the highest hardness value in annealing material temperature 1050oC was 500.5 kg / mm². The annealing process increases the hardness value of the Fe-AlMn alloy material, this is due to the presence of al elements that cause the formation of the Fe-Al a phase . The results of wear tests using the Ogoshi method of Fe-Al-Mn alloy showed the highest wear resistance value in annealing material temperature 850oC of 0.000053 mm³/kg. Where the higher the annealing temperature, the lower the wear value (the higher the wear resistance).

Keywords: Fe-8,9Al-11.6Mn alloy, annealing temperature, microstructure test, hardness test and wear resistance test.

Abstrak

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh temperatur anil pada paduan Fe-8,9Al-11,6Mn terhadap struktur mikro, kekerasan, dan ketahanan aus. Tahapan penelitian dimulai dari persiapan spesimen yaitu memotong paduan Fe-8,9Al-11,6Mn dengan ukuran panjang 20,5cm, lebar 3cm, tinggi 3cm. Proses anil dilakukan dengan cara pemanasan pada temperatur 8500 C, 9000 C, 9500 C, 10000 C, dan 10500C kemudian didinginkan secara perlahan dalam dapur (furnace). Kemudian pengujian dilakukan yaitu uji struktur mikro, uji Kekerasan dengan metode pengujian Vickers, dan uji ketahanan aus dengan

metode Ogoshi. Hasil pengujian komposisi kimia menunjukkan bahwa paduan Fe-Al-Mn pada penelitian ini mengandung unsur utama besi (Fe) sebesar 76,31%, unsur paduan utama aluminium (Al) sebesar 8,90% dan mangan (Mn) 11,64%, serta silikon (Si) sebesar 1,63%. Jumlah keseluruhan unsur paduan adalah sebesar 23,69% sehingga paduan Fe-Al-Mn termasuk baja paduan tinggi. Hasil uji struktur mikro menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur proses anil maka menyebabkan butir ferit membesar dan tersebar merata diantara butir austenit serta pola dendrit akan menghilang. Hasil uji kekerasan dengan metode Vickers menunjukkan bahwa nilai kekerasan tertinggi pada material anil temperatur 1050oC yaitu 500,5 kg/mm². Proses anil meningkatkan nilai kekerasan material paduan Fe-AlMn, ini disebabkan karena adanya unsur Al yang menyebabkan terbentuknya fasa α Fe-Al. Hasil uji keausan dengan metode Ogoshi paduan Fe-Al-Mn menunjukkan nilai ketahanan aus tertinggi pada material anil temperatur 850oC sebesar 0,000053 mm³/kg. Dimana semakin tinggi temperatur anil maka semakin rendah nilai keausan (ketahanan aus semakin tinggi)..

Kata kunci: Paduan Fe-8,9Al-11,6Mn, temperatur anil, uji struktur mikro, uji kekerasandan uji ketahanan aus.

PENDAHULUAN

Dalam industri otomotif telah diketahui bahwa berat komponen dengan konsumsi bahan bakar mempunyai hubungan yang linier. Penurunan berat komponen berimbas pada peningkatan efisiensi dan performance. Karena alasan inilah maka disain komponen diarahkan pada desain mass targets. Desain mass target dapat dicapai dengan penggantian komponen yang mempunyai densitas tinggi dengan bahan-bahan yang mempunyai densitas lebih rendah (Kartikasari dan Sutrisna, 2013).

Pengembangan teknologi otomotif pada dekade ini diarahkan pada teknologi masa depan dimana prioritas diarahkan pada disain yang ringan sekaligus aman. (Frommeyer, 2000). Material dan teknik untuk mengurangi berat kendaraan adalah bagian dari praktek rekayasa rutin otomotif. Baja adalah material teknik yang meliputi 64% penggunaan material dalam industri otomotif. Teknologi besi dan baja maju dikembangkan secara substansial selama dekade terakhir. Baja paduan aluminium merupakan fokus kajian material dalam industri otomotif. (Frommeyer, 2000). Paduan Fe-Cr-Ni sering disebut dengan austenitik stainless steel yang memiliki ketahanan korosi yang baik, kandungan karbon yang rendah biasanya kurang dari 0,25%C, dan kadungan chromium (Cr) yang dalam kisaran 16% Austenitik stainless steel tidak akan mengalami perubahan struktur kristal selama pemanasan dan tidak bisa dikeraskan.

Austenitik Stainless steel adalah baja yang mempunyai sifat ketahanan korosi yang tinggi sehingga pada aplikasinya banyak digunakan pada industri kimia, industri makanan dan minuman, maupun industri peralatan rumah tangga. Dimana sifat-sifat tersebut terutama dari unsur kromium yang di kandunginya. Kekurangan yang dimiliki oleh austenitik stainless steel terutama pada mahalnya biaya produksi, karena kromium merupakan material strategis yang memiliki cadangan minim di banyak negara, dengan alasan dasar ekonomi dan strategi, maka diperlukan upaya untuk menentukan paduan baru untuk menggantikan austenitik stainless steel diantara sistem paduan yang paling dapat menjanjikan peran paduan Fe-Cr-Ni adalah paduan Fe-Al-Mn (S. Sumarji, 2011).

Kromium (Cr) dapat digantikan dengan aluminium (Al) dan nikel (Ni) di gantikan dengan mangan (Mn), alasan mendasar dari unsur ini diganti karena , cadangan kromium (Cr), selain itu faktor ekonomis juga sangat mempengaruhi. Menurut Novak (1977), unsur paduan yang mempunyai perilaku seperti Cr dalam sistem paduan biner Fe-Cr adalah Al, sedangkan unsur paduan yang mempunyai perilaku seperti Ni adalah Mn, dan diagram kesetimbangan Fe-Mn, masing masing memperlihatkan kemiripan dengan diagram kesetimbangan Fe-Ni, Paduan Fe-Al-Mn memiliki sifat-sifat, mekanik yang sangat baik pada

suhu rendah, sehingga paduan Fe-Al-Mn juga dapat dianggap sebagai paduan kryogenik baru yang menjanjikan, dimana unsur Al menggantikan unsur berperan sebagai penstabil struktur ferit. Unsur aluminium (Al) pada sistem paduan dapat meningkatkan ketahanan korosi, dan keberadaannya di dunia sangat melimpah (Shackelford, 1993).

Menurut Kartika dan Sutrisna (2013), aluminium keberadaannya sangat melimpah, yaitu merupakan unsur terbesar ketiga di bumi, sehingga harganya relatif murah. Unsur aluminium dalam baja dapat berfungsi sebagai penstabil struktur ferit (Tjong, 1986). Disamping aluminium adalah unsur yang murah dan mudah diproduksi, penambahan aluminium dalam baja akan meningkatkan ketahanan terhadap oksidasi dan reduksi (Baligheid, 2007). Penambahan aluminium dalam baja juga dapat menurunkan densitas (penurunan 10% densitas dicapai pada penambahan aluminium sebesar 10%). Penurunan densitas 10-25% dapat dicapai dengan penambahan aluminium lebih dari 10% (Kobayashi, 2005). Sedangkan mangan (Mn) disamping sebagai penstabil austenit, penambahan Mn ke dalam sistem paduan akan memperbaiki sifat hot workability dan ductility (Leslie, 1987). Stabilitas austenit juga dapat ditingkatkan dengan penambahan karbon dalam sistem paduan, penambahan sampai 1% karbon memberikan kontribusi terhadap kekuatan secara cukup signifikan. Paduan Fe-Al-Mn lebih jauh dapat ditingkatkan kekuatannya dengan aging heat-treatment, dengan demikian bahwa paduan ini mempunyai densitas 20% lebih ringan daripada stainless steel konvensional, selain sifat mekanik yang baik paduan ini juga mempunyai ketahanan oksidasi yang sangat baik sampai dengan temperatur 850°C.

Aluminium adalah logam reaktif yang dapat membentuk lapisan pelindung aluminium-oksida (Fontana, 1988), lapisan tersebut mempunyai sifat yang sangat stabil dalam lingkungan netral dan asam, dan unsur Mn dalam stainless steel berperan dalam meningkatkan ketahanan korosi. Bila Mn ditambahkan pada stainless steel konvensional dalam jumlah yang besar maka akan menurunkan sifat-sifat paduan. Mangan (Mn) dapat meningkatkan kekerasan dan juga sangat berpengaruh terhadap kadar sulphur (S). Tanpa mangan (Mn), sulphur akan membentuk Fe selama pembekuan. Dengan mangan (Mn) akan menyebabkan terjadinya struktur austenit dan menaikkan kekerasan dan kekuatan. Pada penelitian ini dilakukan salah satu proses heat treatment yaitu; proses anil untuk mengetahui pengaruh temperatur anil pada paduan Fe-8,9Al-11,6Mn terhadap struktur mikro, kekerasan, dan ketahanan aus.

METODE PENELITIAN

Bahan yang digunakan untuk penelitian ini adalah paduan Fe-8,9Al-11,6Mn, berbentuk ingot dengan ukuran panjang 20,5cm, lebar 3cm, tinggi 3cm. Penelitian ini dimulai dengan melakukan pengujian komposisi kimia menggunakan alat spectrometer milik PT. Itokoh Ceperindo, Klaten. Setelah mempersiapkan spesimen yang akan diuji, yaitu dengan cara pemotongan baja paduan Fe-Al-Mn menggunakan mesin waterjet milik Citra Jogja Kreasi dengan jumlah spesimen 15 dan tinggi tiap potongan 5mm. Selanjutnya melakukan proses anil dengan pemanasan material pada suhu 850°C, 900°C, 950°C, 1000°C, 1050°C menggunakan *Muffle Furnace* kemudian ditahan selama 1 jam dan pendinginan perlahan melalui udara. Selanjutnya pengujian yang dilakukan adalah pengujian struktur mikro menggunakan Mikroskop Optik, pengujian kekerasan dengan metode *Vickers* dan pengujian ketahanan aus dengan metode *Ogoshi*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Hasil Pengujian Komposisi Kimia

Tabel 1. Hasil pengujian menggunakan *spectrometer*

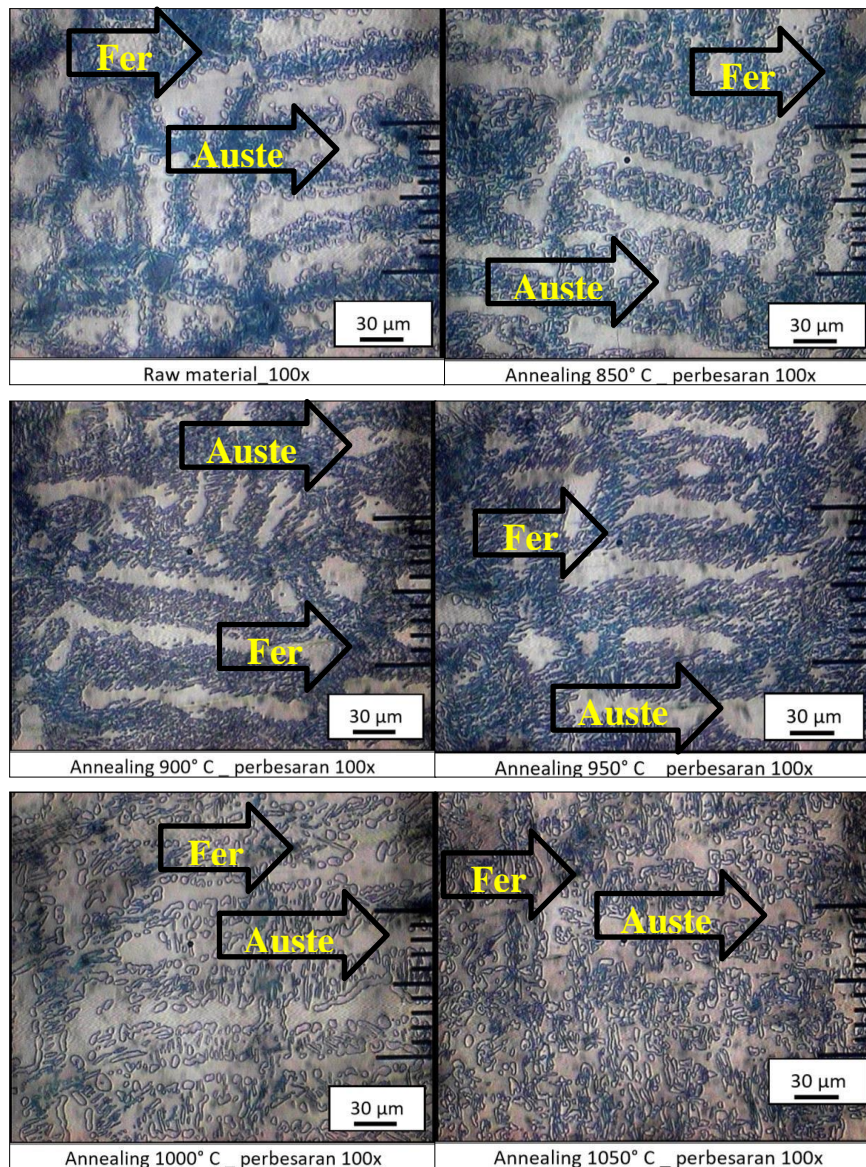
Unsur	% Berat
Fe	76,31
Al	8,9
Mn	11,64
C	0,81
Si	1,63
S	0,01
Ni	0,05
Nb	0,01
Cr	0,13
V	0,01
Mo	0,03
W	0,03
P	0,04
Cu	0,12
TOTAL	100

Hasil pengujian komposisi kimia menunjukkan bahwa paduan Fe-Al-Mn pada penelitian ini mengandung unsur utama besi (Fe) sebesar 76,31%, unsur paduan utama aluminium (Al) sebesar 8,90% dan mangan (Mn) 11,64%, *carbon* (C) 0,81%, serta silikon (Si) sebesar 1,63%. paduan lain adalah sebesar 23,69%, sehingga paduan ini termasuk baja paduan tinggi (Amstead,1989). Paduan Fe-Al-Mn mengandung beberapa unsur yang berpengaruh terhadap sifat bahan, diantaranya penambahan unsur aluminium (Al) sebagai pembentuk dan penstabil ferit ke dalam paduan Fe-Al-Mn sebesar 8,90%, meningkatkan sifat mampu keras dan ketahanan korosi (Frommeyer, 2000).

Kandungan mangan (Mn) sebesar 11,64% berperan menjadi penstabil fasa austenit, sehingga akan memiliki nilai kuat luluh yang rendah, penambahan unsur Mn berfungsi untuk meningkatkan kekerasan, ketahanan ausnya serta berperan dalam meningkatkan kekuatan dan ketangguhan (Baxter, 2008). Unsur karbon (C) dalam paduan ini sebesar 0,81% menyebabkan paduan ini mudah dibentuk karena kekuatannya relatif rendah, lunak dan keuletannya tinggi (Avner, 1974). Keberadaan unsur silikon (Si) sebesar 1,72% pada paduan meningkatkan sifat mampu cor logam cair dan terbentuknya struktur grafit (Suprihanto, 2005). Dan unsur-unsur lain jumlahnya relatif kecil sehingga tidak berpengaruh secara signifikan terhadap sifat bahan.

Analisis Hasil Pengujian Struktur Mikro

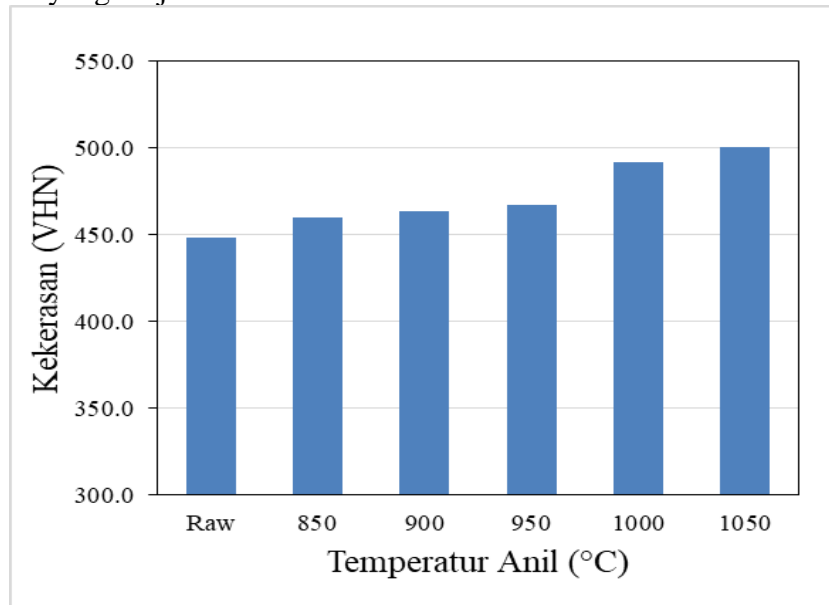
Pengujian struktur mikro dilakukan dengan pengamatan benda uji menggunakan mikroskop optik setelah benda uji di etsa menggunakan $\text{HNO}_3 + \text{HCl}$ dengan perbandingan 3:1, pengujian dilakukan dengan spesimen yang berjumlah 6 buah dan di foto dengan perbesaran 100 kali.



Gambar 1. Foto mikro spesimen baja paduan Fe-Al-Mn

Foto mikro spesimen baja paduan Fe-Al-Mn pada Gambar 1 menunjukkan bahwa spesimen *raw material* berstruktur austenit dan ferit dimana struktur austenit berwarna putih terang sedangkan ferit berwarna lebih gelap, ini dikarenakan unsur (Al) yang terkandung dalam paduan Fe-Al-Mn merupakan unsur pembentuk dan penstabil ferit, juga unsur mangan (Mn) merupakan unsur pembentuk dan penstabil *austenit*. Hasil pengujian struktur mikro menunjukkan bahwa, paduan Fe-Al-Mn pada *raw material* mempunyai fasa ferit dan austenit serta didominasi oleh pola *dendrit*. Pola *dendrit* akan terus berkurang seiring dengan semakin tinggi temperatur anil. Pada temperatur anil 850°C menunjukkan struktur mikro yang terbentuk adalah ferit yang butirnya mulai membesar dan butir austenit yang mulai tumbuh di beberapa area penampang serta pola *dendrit* yang masih terlihat jelas. Selanjutnya pada temperatur anil 900°C struktur mikro yang terlihat yaitu butir ferit yang mulai merapat dan semakin banyak sementara area butir austenit yang mulai mengecil sedangkan pola *dendrit* terlihat jelas. Kemudian pada temperatur anil 950°C struktur mikro yang terlihat yaitu butir ferit mulai merenggang dan area butir austenit mulai bertambah dan pada pola *dendrit* mulai pudar. Selanjutnya pada temperatur anil 1000°C pola *dendrit* hilang yang disebabkan terjadinya proses rekristalisasi dan didominasi pertumbuhan butir ferit yang tersebar diantara butir austenit dan membentuk struktur yang lebih stabil.

Pada temperatur anil 1050⁰C butir ferit semakin bertambah besar dan sebarannya semakin merata. Jadi semakin tinggi temperatur anil pada suhu 900⁰C-1050⁰C struktur ferit semakin membesar dan tersebar diantara butir ferit sedangkan pola *dendrit* akan semakin menghilang, hal ini disebabkan karena terjadinya proses rekristalisasi. Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan metode uji kekerasan *Vickers*. Harga kekerasan yang diperoleh dengan cara menghitung beban yang diberikan dibagi dengan nilai rata-rata diagonal bekas pijakan piramida intan pada posisi yang diuji.



Gambar 2. Diagram Pengujian Kekerasan *Vickers* Paduan Fe-Al-Mn setelah proses anil.

Gambar 2 menunjukkan hasil pengujian kekerasan menggunakan metode kekerasan *Vickers* dengan beban sebesar 40 kgf. Setiap spesimen dilakukan pengujian pada tiga titik berbeda yang diatur secara berurutan. Hasil perhitungan pengujian kekerasan *Vickers* untuk paduan Fe-Al-Mn yang dilakukan, mulai dari *raw* material dengan nilai kekerasan 448,5 kg/mm². Pada anil temperatur 850⁰C nilai kekerasan sebesar 459,7kg/mm², yang mana mengalami kenaikan sebesar 2,5% jika dibandingkan nilai kekerasan *raw* material, kenaikan nilai ini sangat kecil atau dikatakan tidak signifikan, ini disebabkan munculnya fasa ferit dan austenit serta didominasi oleh pola *dendrit*.

Pola *dendrit* akan terus berkurang seiring dengan semakin tinggi temperatur anil. Selanjutnya pada spesimen proses anil temperatur 900⁰C menunjukkan nilai sebesar 463,6 kg/mm². Nilai kekerasan ini mengalami kenaikan sebesar 0,84% jika dibandingkan dengan nilai kekerasan pada proses anil temperatur 850⁰C, kenaikan nilai ini sangat kecil atau dikatakan tidak signifikan, ini disebabkan karena yaitu butir ferit yang mulai merapat dan semakin banyak, sementara area butir austenit yang mulai mengecil sedangkan pola *dendrit* terlihat jelas. Selanjutnya untuk spesimen proses anil temperatur 950⁰C, menunjukkan nilai kekerasan sebesar 467,6 kg/mm², spesimen ini mengalami peningkatan yaitu 0,86% jika dibandingkan nilai dari spesimen proses anil temperatur 900⁰C, kenaikan nilai ini sangat kecil atau dikatakan tidak signifikan, hal ini disebabkan butir ferit mulai merenggang dan area butir austenit mulai bertambah dan pada pola *dendrit* mulai pudar.

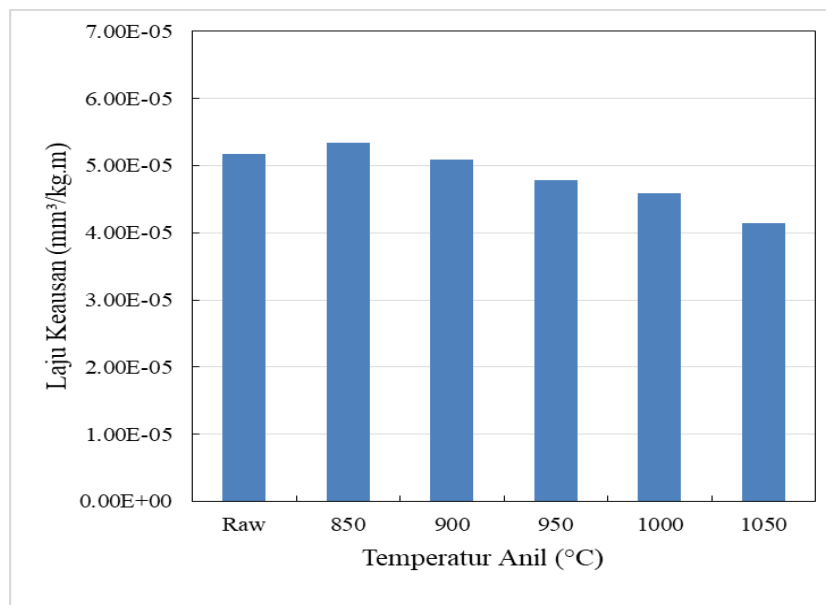
Selanjutnya untuk proses anil temperatur 1000⁰C memiliki nilai angka kekerasan sebesar 491,8 kg/mm² pada proses ini memiliki kenaikan sebesar 5,17% jika dibandingkan proses anil temperatur 950⁰C kenaikan nilai ini besar atau dikatakan signifikan, hal ini disebabkan terjadinya proses rekristalisasi dan didominasi pertumbuhan butir ferit dan austenit yang terlihat lebih jelas dan membentuk struktur yang lebih stabil. Pada proses anil temperatur 1050⁰C sendiri memiliki nilai kekerasan sebesar 500.5 kg/mm², pada proses ini memiliki kenaikan

sebesar 1,76% jika dibandingkan proses anil temperatur 1000°C, kenaikan nilai ini sangat kecil atau dikatakan tidak signifikan, hal ini disebabkan karena penyusunan butir ferit mulai tersebar merata diantara butir austenit.

Dari data uji kekerasan dapat disimpulkan bahwa semakin besar temperatur proses anil menyebabkan spesimen paduan Fe-Al-Mn mengalami peningkatan nilai kekerasan. Namun pernyataan ini berbeda dengan tujuan anil yaitu homogenisasi bahan yang melunakkan logam sehingga jadi ulet untuk dapat diproses lebih lanjut. Hal ini disebabkan adanya unsur Al yang memicu terbentuknya fasa Fe-Al yang menyebabkan sifatnya menjadi keras, fenomena ini berbeda dengan fenomena yang biasa terjadi pada baja karbon.

Analisis Hasil Pengujian Keausan

Pengujian keausan dilakukan dengan menggunakan alat *universal wear* dengan metode *Ogoshi*, yaitu benda uji memperoleh beban gesek dari cincin yang berputar (*revolving dis*). Pembebanan gesek ini akan menghasilkan kontak antar permukaan yang berulang-ulang pada akhirnya akan mengambil sebagian material pada permukaan benda uji. Pengujian keausan dilakukan dengan tiga gesekan yang berbeda pada setiap spesimen. Pengujian ini menggunakan gaya tekan 6,36 kg dengan pengausan 15 m.



Gambar 3. Diagram rata-rata hasil pengujian keausan paduan Fe-AL-Mn setelah proses anil

Gambar 3. Menunjukkan hasil pengujian keausan menggunakan metode *Ogoshi* dengan beban 6,36 kg dengan jarak pengausan 15mm. Seperti dibahas pada sub bab sebelumnya bahwa proses anil pada paduan Fe-Al-Mn, menyebabkan peningkatan nilai kekerasan maka pada pengujian nilai keausan menunjukkan fenomena yang hampir sama. Berdasarkan hasil pengujian terhadap spesimen *raw* material di dapatkan nilai rata-rata keausan sebesar 0,000052 mm³/kg.m, hal ini disebabkan munculnya fasaferit dan austenit serta didominasi oleh pola *dendrit*. Selanjutnya pada proses anil temperatur 850°C di dapatkan nilai rata-rata keausan sebesar 0,000053 mm³/kg.m, mengalami kenaikan sebesar 1,92% jika dibandingkan dengan nilai keausan pada *raw* material, dimana nilai kenaikan ini sangat kecil dan bisa dikatakan tidak signifikan, hal ini disebabkan ferit yang butirnya mulai membesar dan butir austenit yang mulai tumbuh di beberapa area penampang.

Pada spesimen pengujian keausan proses anil temperatur 900°C didapatkan nilai rata-rata keausan sebesar 0,000051 mm³/kg.m, mengalami penurunan sebesar 3,77%, dimana nilai kenaikan ini sangat kecil dan bisa dikatakan tidak signifikan, jika dibandingkan dengan proses anil temperatur 850°C. Hal ini disebabkan karena butir ferit yang mulai merapat dan semakin

banyak sementara area butir austenit yang mulai mengecil. Kemudian pada proses anil temperatur 950⁰C didapatkan nilai rata-rata keausan 0,000048 mm³/kg.m, mengalami penurunan sebesar 5,88%, dimana nilai kenaikan ini cukup besar dan bisa dikatakan signifikan jika dibandingkan dengan proses anil temperatur 900⁰C. Hal ini disebabkan karena butir ferit mulai merenggang dan area butir austenit mulai bertambah dan pada pola *dendrit* mulai pudar. Kemudian pada proses anil temperatur 1000⁰C didapatkan nilai rata-rata keausan 0,000046 mm³/kg.m, mengalami penurunan sebesar 4,16%, dimana nilai kenaikan ini kecil dan bisa dikatakan tidak signifikan jika dibandingkan dengan proses anil temperatur 950⁰C. Hal ini disebabkan karena terjadinya proses rekristalisasi dan didominasi pertumbuhan butir ferit dan austenit yang terlihat lebih jelas dan membentuk struktur yang lebih stabil. Kemudian pada proses anil temperatur 1050⁰C didapatkan nilai rata-rata keausan 0,000041 mm³/kg.m, mengalami penurunan sebesar 10,86%, dimana nilai kenaikan ini cukup besar dan bisa dikatakan signifikan jika dibandingkan dengan proses anil temperatur 1000⁰C. Hal ini disebabkan karena penyusunan butir ferit mulai tersebar merata diantara butir austenit.

Pada pengujian keausan material paduan Fe-Al-Mn didapatkan data bahwa semakin tinggi temperatur anil, nilai keausan semakin tinggi juga. Hasil ini bertentangan dengan kondisi normal yang biasa terjadi pada baja karbon dimana jika temperatur proses anil semakin tinggi maka harusnya nilai keausan meningkat bukannya menjadi turun. Jika dicermati lebih baik penyebabnya ada pada unsur Al yang terkandung dalam material paduan Fe-Al-Mn yang menyebabkan munculnya fasa Fe-Al. Sehingga data hasil pengujian keausan material paduan Fe-Al-Mn berbeda dengan hasil pengujian baja karbon pada umumnya.

Hasil pengujian keausan menggunakan metode *Ogoshi* didapatkan nilai rata-rata keausan yang berbanding terbalik dengan ketahanan aus, maka dari itu material yang memiliki ketahanan aus paling tinggi yaitu pada material yang dianil pada temperatur 1050⁰C dan yang paling rendah pada material yang dianil pada temperatur 850⁰C. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pengaruh temperatur anil pada ketahanan aus yaitu semakin tinggi temperatur anil maka ketahanan aus akan meningkat. Pada Gambar 3. Maka dapat disimpulkan bahwa material yang memiliki nilai kekerasan tinggi akan memiliki ketahanan aus yang tinggi juga.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis data dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil pengujian komposisi kimia menunjukkan bahwa paduan Fe-Al-Mn pada penelitian ini mengandung unsur utama besi (Fe) sebesar 76,31%, unsur paduan utama aluminium (Al) sebesar 8,90% dan mangan (Mn) 11,64%, serta silikon (Si) sebesar 1,63%. Jumlah keseluruhan unsur paduan adalah sebesar 23,69% sehingga paduan Fe-Al-Mn termasuk baja paduan tinggi.
2. Hasil uji struktur mikro menunjukkan bahwa paduan Fe-Al-Mn memiliki 2 fasa yaitu fasa austenit dan fasa ferit disertai dengan munculnya pola *dendrit*. Semakin tinggi temperatur proses anil maka menyebabkan butir ferit membesar dan tersebar merata diantara butir austenit serta pola *dendrit* akan menghilang.
3. Hasil uji kekerasan dengan metode *Vickers* menunjukkan bahwa nilai kekerasan tertinggi pada material anil temperatur 1050⁰C yaitu 500,5 kg/mm². Proses anil meningkatkan nilai kekerasan material paduan Fe-Al-Mn, ini disebabkan karena adanya unsur Al yang menyebabkan terbentuknya fasa Fe-Al.
4. Hasil uji keausan dengan metode *Ogoshi* paduan Fe-Al-Mn menunjukkan nilai keausan tertinggi pada material anil temperatur 850⁰C sebesar 0,000053 mm³/kg. Dimana semakin tinggi temperatur anil maka semakin rendah nilai keausan (ketahanan aus semakin tinggi).

REFERENSI

- Amstead, B., terj., Sriati Djaprie, 1989, *Teknologi Mekanik*, Jilid 1, Edisi 7, Erlangga, Jakarta.
- Avner, H.S., 1987, *Introduction to Physical Metallurgy*, McGraw-Hill Inc., Singapore.
- Baligheid, R.G., Prakash, U., Ramakrishna Rao, V., Rao, P.K., and Ballal N.B., 1996, Effect of Carbon Content on Mechanical Properties of Electroslag Remelted Fe₃Al Based Intermetallic alloys, Vol. 36, No. 12, 1453- 1458.
- Baxter R., 2008, *Effects of Heat Treatment and Chemical Composition on Microstructure and Mechanical Properties of Hadfield Steels*, Vol. 10, No. 1, Hal. 69-75.
- Fontana, G.M., 1988, *Corrosion Engineering*, 3th ed., McGraw Hill Inc., Singapore.
- Frommeyer, 2000, Physical and Mechanical Properties of Iron-Aluminium-(Mn-Si) Lightweight Steels, The 1999 ATS International Steelmaking Conference, Paris. Sec.4.
- Kartikasari, R., 2013, Pengaruh Temperatur Anil Terhadap Ketangguhan Dan Ketahanan Korosi Kandidat Baja Ringan Paduan Fe-Al-Mn-Si, Prosiding Seminar Nasional Perkembangan Riset dan Teknologi Di Bidang Industri ke 19, Vol . 15, No 1, Hal. 11-15.
- Kobayashi, S., Zaefferer, S., Schneider, A., Raabe, D., and Frommeyer, G., 2005, Optimisation of Precipitation for Controlling Recrystallization of Wrought Fe₃Al Based Alloys, *Intermetallics*, 13, 1296-1303.
- Leslie, T., 1983, *The Physical Metallurgy of Steels*, John Willey and Sons Inc., New York.
- Novak, C.J., 1997, *Structure and Constitution of Wrought Austenitic Stainless Steel*, dalam *Hand book of Stainless Steel*, Ed., Peckner dan Blonstein, McGraw Hill Book Company, New York.
- Shackelford, J.F., 1992, *Introduction to Material Science for Engineers*, 3th ed., McMillan Publishing Company, New York
- Sumarji, S., 2011, Studi Perbandingan Ketahanan Korosi Stainless Steel Tipe SS 304 dan SS 201 Menggunakan Metode U-Bend Test Secara Siklik Dengan Variasi Suhu dan PH, *Jurnal Rotor*, Vol. 4, No.1, Hal. 2.
- Suprihanto.A., 2005, Perbaikan sifat mekanis besi cor kelabu dengan penambahan unsur crom dan tembaga, *Jurnal Teknik Mesin*, Vol. 06, No. 1.
- Tjong, S.C., 1986, Stress Corrosion Cracking behavior of the duplex Fe-10Al-29Mn-0,4C alloy in 20% NaCl solution at 100 oC, *Journal of MaterialScience*, Vol. 21, Hal.: 1166-1170