



Analisis Kegagalan Hasil Uji Produk Pelek Aluminium Berdasarkan SNI 1896 : 2008

Apriardi Ihlas* dan Najmuddin Yahya

Balai Besar Bahan dan Barang Teknik Kementerian Perindustrian, Jl. Sangkuriang No. 14 Dago, Kec. Coblong, Kota Bandung 40135

*E-mail: apriardi.ihlas@gmail.com

Abstract

The aluminium wheel rim product is one of the mandatory SNI products. The wheel rim product is directly related to the safety of the wearers. Some domestic industries have failed to meet the requirements of the SNI 1896: 2008, especially in testing the resistance for impact loads. The purpose of this research was to discover the causes of that failure. Several methods were carried out to find out the causes, namely the metallographic examination, the Scanning Electron Microscopy/Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM/EDS), and the chemical composition. All data would be compared with Original Equipment Manufacturer (OEM) products. The results of the research proved that the too-high Fe content would form a needle structure which had a low interface bond to the aluminium matrix. This condition simplified the spreading of cracks. Based on the results of the chemical composition test and the Al-Si-Fe phase diagram, the intermetallic phase formed was β -AlFeSi, presumably. Also, two types of defect were found, interdendritic shrinkage and less gas porosity with the uneven distribution. The sharp form of the shrinkage defect and β -AlFeSi phase caused the stress concentration would become the initial crack. Consequently, all these conditions caused the low durability of the wheel rim product for the impact loads

Keywords: aluminium, wheel rim, intermetallic phase, needle structure

Pendahuluan

Pelek berbahan aluminium adalah pelek yang banyak digunakan untuk kendaraan bermotor roda empat, dibandingkan bahan lainnya. Berdasarkan informasi dari Gabungan Industri Kendaraan Bermotor Indonesia (Gaikindo) menunjukkan penjualan kendaraan bermotor pada tahun 2019 mencapai 1.286.848 unit, di mana 81,3 % merupakan kendaraan penumpang. Asumsi dalam 1 tahun dapat terjual 1 juta unit, maka kebutuhan pelek dalam negeri pertahun minimal 4 juta. Ini menunjukkan besarnya potensi pasar industri pelek, dimana industri dalam negeri mempunyai peluang untuk mencukupi pasokan dalam negeri. Pelek yang dibutuhkan tidak hanya untuk kebutuhan *Original Equipment Manufacturer* (OEM) juga untuk kebutuhan *aftermarket*.

Penggunaan pelek aluminium diatur oleh Peraturan Menteri Perindustrian Republik Indonesia tentang pemberlakuan Standar Nasional Indonesia (SNI) pelek kendaraan bermotor kategori M,N,O dan L secara wajib dan standar pengujian untuk pelek kendaraan bermotor roda empat adalah SNI 1896:2008. Ruang lingkup standar ini berlaku untuk bahan baku pelek yang terbuat dari logam baja dan logam paduan ringan, yaitu aluminium. Kategori kendaraan berlaku untuk semua baik penumpang maupun barang (kategori N dan O). SNI ini mengatur syarat mutu dan pengujian kualitas produk pelek, diantaranya : dimensi, ketahanan berbagai beban, ketahanan momen lentur dan ketahanan impak. Beberapa industri dalam negeri khususnya Industri kecil menengah (IKM) yang menjual produk pelek aftermarket tidak memenuhi standar SNI 1896:2008.

Kualitas produk pelek aluminium sangat tergantung dari kualitas bahan baku dan teknologi proses produksinya. Paduan Al-Si menjadi pilihan utama sebagai bahan baku pelek. Paduan ini memiliki kelebihan dibandingkan paduan aluminium lainnya terhadap cacat cor yaitu mengurangi terjadinya *shrinkage* dan porositas. Silikon diketahui meningkatkan fluiditas dan mengurangi pengintian *shrinkage*. Bahan baku yang umumnya digunakan adalah ingot aluminium seri A356 (Majjer, Lindley, dan Lee, 2007). Paduan aluminium ini memiliki unsur pepadu utama yaitu Si sebesar 6,5 – 7,5 % berat, jadi termasuk paduan hipoeutektoid. Secara umum proses produksi diawali dengan ingot aluminium dileburkan dalam tungku khusus hingga mencair. Setelah itu, aluminium melewati proses *degassing* untuk menghilangkan gelembung gas. Proses peleburan yang baik mengharuskan dapur dan logam yang dimasukkan dalam keadaan bersih (Heini dkk, 1981). Kemudian dimasukkan dalam cetakan sesuai teknologi pengecoran, misalnya *Low Pressure Die Casting* atau *Gravity Casting* yang paling sederhana. Proses produksi diakhiri dengan proses perlakuan panas tipe T6 sebelum dilakukan *finishing* permesinan. Perlakuan panas tersebut untuk menghaluskan Mg_2Si sehingga membantu memperbaiki sifat mekanik.



Beberapa industri besar dalam negeri mampu memenuhi standar OEM dan SNI. Namun tidak semua industri dalam negeri mampu memenuhi standar bahan baku dan proses produksi yang ideal tersebut. Beberapa IKM terpaksa menggunakan bahan baku sekunder sekrap aluminium yang akan dileburkan. Penggunaan sekrap sejenis, misalnya kaleng tidak menjamin keseragaman bahan baku. Kontrol komposisi merupakan hal penting terutama kandungan unsur Fe yang memiliki pengaruh buruk terhadap sifat mekanik pada paduan aluminium. Pengaruh Fe terhadap sifat mekanik paduan aluminium telah diulas oleh (Mbuya, Odera, dan Ng'ang 2003). Sumber keberadaan Fe pada proses pengecoran berasal dari peralatan peleburan dan sekrap itu sendiri.

Peningkatan kandungan Fe dapat menurunkan sifat keuletan paduan Al-Si. Secara umum fasa yang terbentuk pada paduan ini adalah dendritik α -Al, eutektik interdendritik Al-Si, dan intermetalik. Faktor utama yang mempengaruhi penurunan keuletan adalah pembentukan fasa intermetalik β Al-Si-Fe dan peningkatan porositas. Kandungan Fe yang melebihi 0,05 % berat berdasarkan diagram fasa Al-Fe akan membentuk fasa kedua intermetalik dalam kombinasi dengan Al dan unsur lainnya. Secara umum, fasa intermetalik yang terbentuk adalah kelompok fasa α Al-Si-Fe yang berbentuk *chinese-script* dan β Al-Si-Fe yang berbentuk *needle structure*. Selama proses pengecoran aluminium, fasa intermetalik terbentuk di antara lengan dendrit aluminium yang telah membeku. Kandungan Fe diatas 0,4 % berat memberi peluang terbentuknya fasa intermetalik β -Al₅FeSi atau pun Fe₂Si₂Al₉ (Khalifa, Samuel, and Gruzleski 2003). Persyaratan maksimal kandungan Fe produk salah satu OEM adalah 0,2 % berat dan paun A356.2 adalah 0,13 - 0,25 % berat. Fasa ini bersifat getas dan memiliki ikatan antarmuka terhadap matrik aluminium sangat rendah sehingga dengan mudah penjalaran retak melaluinya. Secara umum, perbedaan fasa intermetalik yang terbentuk tergantung pada komposisi unsur-unsur pemadu dan kecepatan pendinginan.

Selain keberadaan fasa β -AlFeSi yang dapat menjadi inisial retakan, pada pengecoran aluminium mudah ditemukan beberapa cacat produk, terutama shrinkage, porositas, dan inklusi (K. Navyanth, 2013). Fiorese dkk, 2015 menjelaskan klasifikasi cacat dan ketidaksempurnaan produk cor aluminium. Cacat porositas gas dapat terjadi dari beberapa sumber, yaitu kelarutan gas hidrogen, udara yang terperangkap saat penuangan, dan kerusakan permukaan *binder* cetakan pasir yang menyebabkan terjadinya fenomena *core blow*. Reaksi kimia antara Al dan uap air akan menghasilkan gas hidrogen inklusi Al₂O₃. Tipe porositas itu sendiri dapat dibagi berdasarkan ukuran, distribusi, dan morfologi. Cacat shrinkage terbagi menjadi 2 secara makro dan mikro. Shrinkage makro berukuran relatif besar dengan kekosongan terbentuk akibat kontraksi volum selama solidifikasi. Tipikal cacat ini memiliki permukaan yang kasar akibat pemutusan pertumbuhan dendritik. Sebaliknya shrinkage mikro akibat logam cair tidak mampu masuk ke dalam celah interdendritik sehingga sering disebut *interdenritic shrinkage*.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui penyebab utama kegagalan hasil pengujian pelek aluminium berdasarkan SNI 1896:2008, khususnya daya tahan produk terhadap beban impak. Pengaruh kandungan Fe terhadap produk pelek dibandingkan dengan produk OEM terhadap perubahan struktur mikro dan sifat mekanik.

Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan evaluasi terhadap kegagalan uji SNI dan dilanjutkan pengamatan lapangan. Berdasarkan pengamatan lapangan proses produksi menggunakan bahan sekrap aluminium dileburkan, degassing, dan dituangkan dengan teknologi *gravity casting* atau bertekanan rendah. Bahan yang digunakan pada penelitian ini diambil dari 3 sampel pelek yang gagal uji SNI 1896 – 2008. Sampel pelek yang mengalami kegagalan adalah kategori M (mobil penumpang) dan berbahan baku paduan ringan aluminium. Jenis pengujian yang mengalami kegagalan adalah daya tahan terhadap benturan atau impak. Kondisi pengujian sebagai berikut : beban 450 kg, ketinggian beban 230 m, dan tekanan angin awal dan akhir 2, 0 kgf/cm² (**Gambar 1**).

Selanjutnya, dilakukan pengambilan potongan sampel pada lokasi yang sama yaitu bagian *spoke* untuk dijadikan spesimen. Serangkaian pemeriksaan dan pengujian terhadap spesimen tersebut. Adapun jenis pemeriksaan spesimen meliputi pemeriksaan metalografi, pengujian komposisi kimia, dan pemeriksaan *Scanning Electron Microscopy/Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* (SEM/EDS). Hasil pemeriksaan dan pengujian dibandingkan terhadap produk pelek OEM.

Pemeriksaan metalografi dilakukan untuk melihat perbedaan struktur mikro dan cacat terhadap kedua kelompok produk pelek yang gagal uji dan OEM. Pengujian ini mengikuti standar ASTM E 407-07. Pemilihan dan penyiapan sampel dilakukan melalui serangkaian tahapan preparasi dilakukan, diantaranya: pemotongan, *mounting*, poles (poles kasar grit 120 sampai 2000 dan dilanjutkan poles halus dengan alumina 0,5 mikron), dan pemberian larutan etsa. Potongan spesimen adalah penampang melintang bagian *spoke*. Larutan etsa yang digunakan adalah 0,5% *hydrofluoric acid* (HF). Pemeriksaan dan dokumentasi gambar dilakukan pada pembesaran 50X, 100X, 200X, dan 500X.

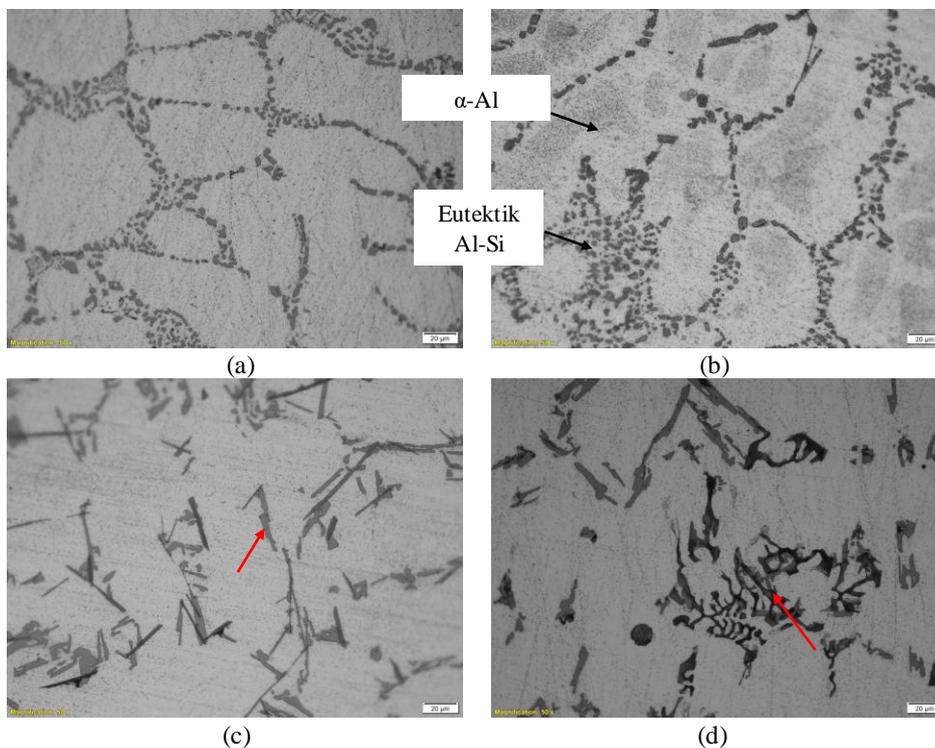
Pengujian komposisi kimia dilakukan dengan metoda *Optical Emission Spectroscopy* (OES). Pengujian ini untuk melihat dan membandingkan komposisi kimia kedua kelompok produk pelek dan spesifikasi A356.X. Sedangkan pemeriksaan SEM/EDS untuk melihat keberadaan dan bentuk fasa intermetalik. Mikroskop elektron yang digunakan adalah SU3500 pada 10 kV dengan detektor *Secondary Electron* (SE).



Gambar 1. Pengujian impact terhadap pelek menurut SNI 1896 : 2008 dan hasilnya (a) uji impact, (b) tampak depan, (c) tampak belakang

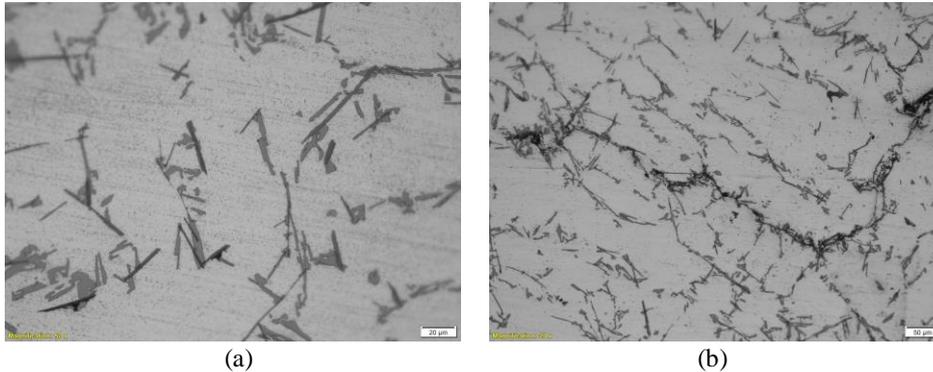
Hasil dan Pembahasan

Struktur mikro pelek aluminium produk OEM dibandingkan dengan produk yang gagal uji SNI diperlihatkan pada **Gambar 2**. Pada produk OEM (**Gambar 2(a)** dan **2(b)**) secara proporsi didominasi dendritik fasa α -Al yang berwarna cerah yang dikelilingi oleh fasa eutektik Al-Si. Fasa eutektik berwarna abu-abu dan berbentuk bulat dan halus. Ukuran fasa ini pada pada OEM impor sedikit lebih halus/kecil dibandingkan OEM lokal. Tidak ditemukan cacat atau porositas pada struktur mikro kedua produk tersebut. Hal ini diduga akibat penambahan sedikit unsur modifikasi Sr umum digunakan pada industri pelek aluminium. Bentuk dan ukuran demikian akan meningkatkan sifat mekanik paduan dan mampu alir saat pengecoran sehingga terbentuknya porositas terhindar.



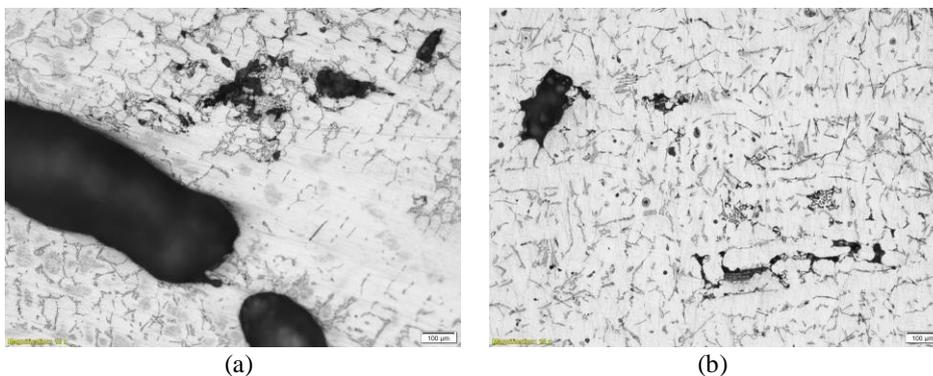
Gambar 2. Perbandingan struktur mikro produk OEM dan produk gagal SNI (pembesaran 500X): (a) OEM impor, (b) OEM lokal, (c) pelek I : fasa eutektik Al-Si , (d) pelek II : fasa *chinese script* α

Berbeda dengan produk OEM, produk pelek I dan II (**Gambar 2(c)** dan **2(d)**) terbentuk fasa intermetalik. Fasa Al-Si berbentuk pelat kasar. Hal ini akan menghasilkan sifat mekanik yang lebih buruk. Selain itu ditemukan juga fasa intermetalik berbentuk jarum yang berwarna gelap. Fasa intermetalik yang mungkin terbentuk sangat beragam sesuai dengan komposisi senyawa yang terbentuk. Namun tipikal yang terlihat menunjukkan terbentuknya fasa AlSiFe. Fasa pertama yang berbentuk jarum-jarum kasar (*needle structure*) dan berwarna gelap (**Gambar 2(c)**) merupakan fasa β -AlFeSi. Beberapa penelitian membuktikan bahwa fasa tersebut diduga adalah β -Al₅FeSi atau pun Fe₂Si₂Al₉. Fasa kedua termasuk golongan α -AlSiFe memiliki bentuk yang lebih rumit dan dikenal dengan nama *chinese script*.



Gambar 3. Struktur mikro pelek I menunjukkan penjalaran retak pada struktur jarum(*needle structure*) pada pembesaran 200X

Fasa intermetalik β -AlFeSi memiliki permukaan datar atau pelat tipis yang sangat tajam. Bentuk ini akan dapat menjadi awal retakan karena adanya konsentrasi tegangan. Pada **Gambar 3(b)** memperlihatkan penjalaran retakan. Sedangkan fase α -AlFeMnSi dianggap kurang berbahaya bagi sifat mekanik dibandingkan dengan fase β -AlFeSi berdasarkan bentuknya. Bentuk yang sangat tajam dan bersudut sangat tinggi dengan matriksnya sehingga menghasilkan ikatan yang sangat lemah dengan matriks aluminium. Intermetalik berbentuk pelat ini juga diduga dapat mencegah aliran dari metal cair selama proses pembekuan, membatasi *feedability* dan menyebabkan pembentukan porositas serta cacat pada hasil pengecoran.



Gambar 4. Porositas : (a) pelek I : porositas gas (pembesaran 50X) dan (b) pelek II : makro dan mikro shrinkage (pembesaran 100X)

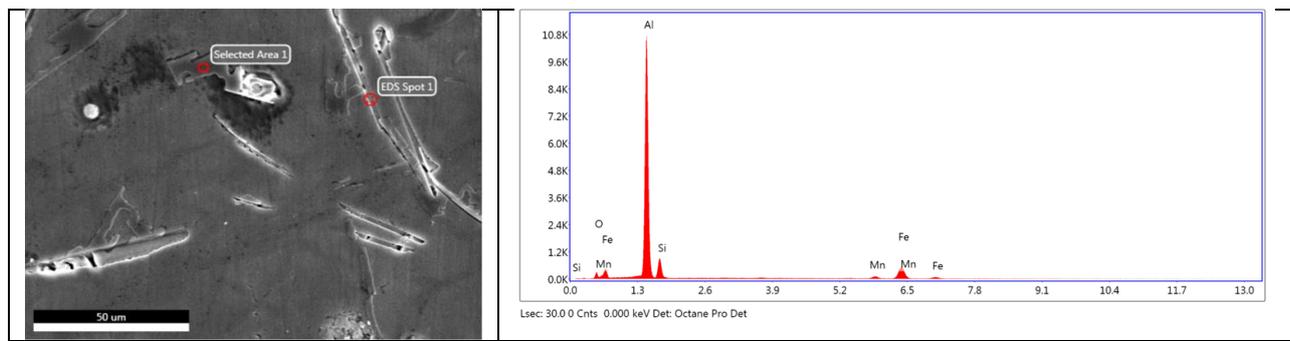
Pada produk pelek yang gagal mudah ditemukan porositas atau *cavity*, baik yang berukuran besar maupun relatif kecil. Keberadaan porositas atau cacat ini tidak terdistribusi secara merata. Gambar struktur mikro pelek I ditemukan 2 buah porositas yang memiliki ukuran relatif besar dengan permukaan yang halus. Porositas tipe ini terbentuk akibat gas yang terperangkap. Namun secara umum porositas atau cacat yang lebih banyak ditemui memiliki permukaan yang kasar dan berukuran relatif kecil. Meskipun ukurannya relatif kecil, dapat dibagi menjadi 2 kelompok. Ukuran makro memiliki bentuk *sponge* yang berada antar fasa dendritik. Sedang ukuran mikro berada antara celah interdendritik yang diakibatkan tidak mampu logam cair mengisi celah yang sempit tersebut.

Terbentuknya fasa intermetalik yang mengandung Fe ditunjukkan dari hasil pengujian komposisi kimia pada **tabel 1**. Ketiga nilai komposisi kimia pelek dibandingkan dengan spesifikasi *Original Equipment Manufacturer* (OEM) dan ASTM A356.2.

Tabel 1. Hasil Pengujian Komposisi Kimia pada Pelek Aluminium (% berat)

Unsur	Pelek I	Pelek II	Pelek III	OEM	A 356.2
Si	9,020	9,270	10,090	6,5 -7,5	6,5 – 7,5
Fe	0,609	0,670	0,733	0,2 maks.	0,13 – 0,25
Cu	0,352	0,169	0,166	0,2 maks.	0,10 maks.
Mn	0,174	0,217	0,219	0,1 maks.	0,05 maks.
Mg	0,176	0,229	0,232	0,2 – 0,4	0,30 – 0,45
Zn	0,278	0,381	0,449	0,1 maks.	0,05 maks.
Ti	-	0,063	0,006	0,2 maks	0,20 maks

Kandungan Fe pada produk pelek aluminium I, II, dan III di atas spesifikasi yang dipersyaratkan oleh OEM dan ASTM A356.2. Penambahan unsur Mn umumnya dilakukan industri untuk menstabilkan kadar Fe berlebih. Mekanisme untuk mengurangi pengaruh buruk kadar Fe adalah merubah fasa β -AlSiFe yang berbentuk jarum menjadi fasa α -AlSiFeMn yang lebih tidak membentuk fasa yang tajam.



Gambar 5. Gambar SEM dan grafik EDS pada struktur jarum

Pemeriksaan SEM dan EDS diperlihatkan pada **Gambar 5** dan **Tabel 2**. Berdasarkan pemeriksaan sebelumnya menunjukkan bahwa keberadaan struktur jarum sangat rentan terhadap beban impact. Detektor SE pada Gambar SEM memperlihatkan daerah yang lebih cerah pada struktur jarum dibandingkan matriknya. Hasil uji EDS pada spot area struktur jarum peningkatan signifikan kandungan Fe dari 0,609 % berat secara umum menjadi 17,56 % berat pada lokasi tersebut. Hal ini menunjukkan terbentuknya fasa intermetalik Al-Si-Fe. Pendekatan praktis untuk memprediksi komposisi senyawa yang terbentuk adalah dengan membandingkan % atom. Pendekatan dengan menggunakan pengujian EDS memiliki faktor koreksi relatif kasar dibandingkan metode lain, maka nilai yang didapat semi kuantitatif. Nilai % atom Si dan Fe menunjukkan perbandingan relatif sama. Komposisi ini mendukung beberapa penelitian membuktikan bahwa fasa berbentuk jarum diduga adalah fasa intermetalik β -Al₃FeSi atau β -Fe₂Si₂Al₉. Sedangkan nilai % atom Al lebih tinggi diduga permukaan uji didominasi oksida aluminium, Al₂O₃. Selain itu ditemukan juga sedikit Mn yang menunjukkan keberadaan fasa fasa intermetalik Al-Si-Fe-Mn.

Tabel 2. Hasil Semi Kuantitatif EDS pada spot area struktur jarum (**Gambar 6**)

Unsur	O	Al	Si	Mn	Fe
% berat	4,40	64,74	10,47	2,84	17,56
% atom	8,05	70,30	10,92	1,51	9,21

Kesimpulan

Beberapa industri dalam negeri mengalami kegagalan hasil uji pelek aluminium berdasarkan persyaratan SNI 1896 : 2008, khususnya pada pada pengujian daya tahan terhadap beban impact. Berdasarkan pemeriksaan metalografi memperlihatkan terbentuknya fasa kedua intermetalik yang berbentuk *needle structure*. Selain itu mudah ditemukan porositas yang terdiri dari tipe shrinkage yang relatif kecil dengan permukaan yang tajam dan sedikit tipe gas yang relatif besar dan memiliki permukaan yang halus. Berdasarkan pemeriksaan SEM/EDS menunjukkan bahwa fasa intermetalik *needle structure* adalah β -AlFeSi. Fasa ini memiliki ikatan antar muka yang



lemah terhadap matrik aluminiumnya. Kondisi dan bentuk fasa intermetalik yang getas dan tajam dan porositas tipe shrinkage dapat menjadi sumber retakan karena konsentrasi tegangan. Penjalaran retakan mudah terjadi sepanjang fasa intermetalik ini. Kondisi struktur mikro tersebut menurunkan sifat mekanik pelek aluminium sehingga daya tahan terhadap beban dampak menjadi menurun.

Rekomendasi

1. Turunkan kandungan unsur padu besi(Fe) untuk mengurangi terbentuknya fasa jarum yang bersifat getas.
2. Penambahan unsur-unsur modifikasi, TiB untuk penghalusan butir dan Sr untuk memutuskan fasa yang berbentuk jarum sehingga dapat memperbaiki sifat mekanik.

Daftar Pustaka

- Alberto J, Teno S. Removal of iron from molten recycled aluminium through intermediate phase filtration. *Materials Transactions* 2006; 47(7): 1731–1736.
- ASTM B 179 – 03. Standard specification for aluminium alloys in ingot and molten forms for castings from all casting processes.
- Damoah L. Removal of iron from aluminium: A review mineral processing and extractive removal of iron from aluminium: A Review. *Mineral Processing & Extractive Metall. Rev* 2012; 33: 99–157.
- Darvishi A. The mutual effect of iron and manganese on microstructure and mechanical properties of aluminium-silicon alloy. *MJoM* 2010; 16 (1): 11-24.
- Fiorese EF, Bonollo G, Timelli L, Arnberg, Gariboldi E. New classification of defects and imperfections for aluminium alloy castings. *Int. J. Met* 2015; 9 (1): 55–66.
- Khalifa W, Samuel FH, Gruzleski JE. Iron intermetallic phases in the Al corner of the Al-Si-Fe system. *Metallurgical and Materials Transactions A* 2003; 34: 807–825.
- Lee PDP, Li DM, Maijer TC, Lindley, Lee PD. Simulating the residual stress in an a356 automotive wheel and its impact on fatigue life. *Metallurgical and Materials Transactions B*. 2007; 38B: 505–515.
- Lu L, Dahle AK. Iron-rich intermetallic phases and their role in casting defect formation in hypoeutectic Al-Si alloys. *Metallurgical and Materials Transactions A*. 2005; 36A: 819–835.
- Mbuya TO, Odera BO, Ng'ang'a PS. Influence of iron on castability and properties of aluminium silicon alloys: literature review. *International Journal of Cast Metals Research* 2003; 16: 451–465.
- Navyanth K, Minimization of defects in aluminium alloy castings using SQC. Department of Mechanical Engineering National Institute of Technology Rourkela India, PhD thesis, 2013.
- SNI 1896 : 2008, Pelek Kendaraan Bermotor Kategori M, N, dan O.



Lembar Tanya Jawab

Moderator : Aditya Kurniawan (UPN "Veteran" Yogyakarta)
Notulen : Yuli Ristianingsih (UPN "Veteran" Yogyakarta)

1. Penanya : Aditya Kurniawan (UPN "Veteran" Yogyakarta)
Pertanyaan : Untuk memperbaiki sifat mekanis apakah komposisi Fe harus diperkecil?
Jawaban : Kadar Fe memang harus diperkecil sampai 0,2 % kebawah untuk mengurangi terbentuknya fasa yang bersifat getas. Selain itu bisa juga menambah kandungan mangan, dll.
2. Penanya : Aditya Kurniawan (UPN "Veteran" Yogyakarta)
Pertanyaan : Kedepannya arah produknya akan dipatenkan sebagai produk hasil suatu IKM?
Jawaban : Tujuan utama industri ini adalah menghasilkan produksi yang memenuhi standar SNI dan bisa bersaing/dijual di pasaran lokal (ruang lingkup kecil).