

“Pengaruh Putaran *Centrifugal Casting* Velg dari bahan Aluminium Scrap terhadap Karakteristik Perambatan Retak Fatik”

Erich Umbu Kondi Maliwemu¹⁾, Priyo Tri Iswanto²⁾

¹⁾ Program Studi S2 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

²⁾ Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

Jl. Grafika No. 2, Yogyakarta - 55281

e-mail : erich.undana@yahoo.com

Abstrak

Velg merupakan komponen kendaraan yang pada saat digunakan akan mengalami beban berulang (beban dinamis), bahkan mengalami beban kejut, dimana jika fluktuasi tegangan ini cukup besar dan berulang-ulang, maka akan mengakibatkan kegagalan struktur. Oleh karena itu, maka produk hasil coran tersebut harus mendapat jaminan terhadap kerusakan akibat retak lelah/fatig, sehingga aman dalam penggunaan dan bahkan mempunyai umur penggunaan lebih lama. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh putaran *centrifugal casting* terhadap karakteristik perambatan retak fatik. Material yang digunakan adalah aluminium *scrap* yang merupakan hasil pengecoran ulang (*remelting*) pada putaran mesin *centrifugal casting* 400, 500, 600 dan 700 rpm. Benda uji yang digunakan adalah CTS (*Compact Test Speciment*) berdasarkan ASTM E647. Penggunaan beban fatik dilakukan pada kondisi beban amplitudo konstan dengan *stress ratio* $R=0,1$. Dari hasil pengujian diperoleh data panjang retak dan jumlah siklus pembebanan, kemudian dilakukan perhitungan untuk mendapatkan laju perambatan retak (da/dN) terhadap perubahan faktor intensitas tegangan (ΔK), dimana proses pengolahan data-data tersebut menggunakan metode *incremental polynomial* berdasarkan ASTM E647. Hasil penelitian menunjukkan bahwa putaran 700 rpm merupakan putaran *centrifugal casting* dengan laju perambatan retak fatik terendah, yaitu pada harga konstanta paris $C=2 \times 10^{-15}$ dan $n=7,221$.

Kata kunci : *velg, centrifugal casting, aluminium scrap, remelting, fatik.*

1. Pendahuluan

Sebagian besar industri otomotif menggunakan aluminium sebagai bahan untuk memproduksi suku cadang kendaraan bermotor. Hal ini disebabkan karena aluminium merupakan material yang memiliki sifat mekanis yang baik, terutama untuk material struktur atau pemesinan. Selain itu aluminium mempunyai beberapa keunggulan antara lain ringan, mempunyai sifat mampu bentuk (*formability*) yang baik, tahan korosi dan kekuatan tariknya dapat ditingkatkan melalui proses pengerjaan dingin atau melalui proses perlakuan panas [5].

Produk dari bahan aluminium yang sudah tidak bisa digunakan (produk bekas), masih bisa dimanfaatkan lagi untuk memproduksi ulang suku cadang kendaraan bermotor. Untuk memanfaatkan aluminium bekas, maka beberapa industri lokal mencoba untuk memanfaatkan material ini untuk membuat ulang beberapa produk suku cadang kendaraan bermotor, seperti pada proses pembuatan *velg* kendaraan roda dua. Namun hasil produk coran yang dihasilkan masih jauh berbeda dengan produk industri besar. Pada industri lokal masih menggunakan metode yang

sederhana dan mudah untuk dilaksanakan yaitu *Gravity Casting* untuk memproduksi *velg*, sehingga masih banyak terdapat cacat coran yang berdampak pada kualitas sifat fisis dan mekanis dari produk tersebut, sehingga perlu dicarikan metode lain yang dapat memperbaiki kualitas produk pengecoran tersebut. Pada proses pengecoran ulang (*remelting*) material aluminium *scrap* untuk kondisi plane strain diperoleh hasil bahwa proses remelting dapat menurunkan ketangguhan paduan aluminium. Penurunan ini disebabkan oleh porositas akibat peningkatan gas hidrogen pada saat logam bertransformasi dari padat cair ke padat. Hal ini mengidentifikasikan bahwa kemampuan suatu bahan untuk berdeformasi secara plastis dan menyerap energi sebelum dan sesudah terjadi kerusakan berkurang karena bahan mengalami proses *remelting* [4].

Berdasarkan permasalahan tersebut, maka pada penelitian ini metode pengecoran yang digunakan adalah Pengecoran Sentrifugal (*centrifugal casting*), dimana pada proses ini untuk meningkatkan kualitas produk, maka harus memperhatikan putaran mesin *centrifugal casting*, temperatur lebur, temperatur tuang dan penambahan inoculan. *Centrifugal casting*

merupakan metode pengecoran dimana logam cair membeku di dalam cetakan yang berputar. *Centrifugal casting* lebih handal dari pada *static castings*, yaitu relatif lebih bebas dari *gas porosity* dan *shrinkage porosity* [9]. Gaya sentrifugal pada proses *centrifugal casting* ini lebih baik dari pada metode gravitasi karena gaya sentrifugal mampu memampatkan logam cair, sehingga diperoleh hasil coran yang lebih baik dengan cacat pengecoran seperti porositas yang relatif lebih kecil, sehingga akan berdampak pada peningkatan sifat fisis dan mekanis material tersebut dan juga akan berdampak pada karakteristik perambatan retak fatik.

Pada penelitian tentang pengaruh gaya sentrifugal pada pengecoran sentrifugal *velg* sepeda motor dibandingkan dengan metode *gravity casting* diperoleh hasil bahwa metode *centrifugal casting* memiliki sifat mekanis yang lebih baik dari pada *gravity casting*. Gaya sentrifugal berpengaruh terhadap kemampatan material, maka hal ini akan mengurangi cacat porositas dan akan meningkatkan kekuatan mekaniknya [11].

Penelitian tentang pengaruh putaran *centrifugal casting* pada aluminium *scrap* terhadap sifat fisis mekanis menunjukkan bahwa telah terjadi peningkatan sifat fisis dan mekanis yaitu terjadi peningkatan kekuatan tarik, kekerasan, dan *impact*. Uji struktur mikro menunjukkan bahwa kecepatan putar berpengaruh terhadap batas butir yang lebih menyempit dimana porositas diantara butiran-butiran sangat kecil. Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa variasi putaran pada pengecoran sentrifugal mampu menaikkan kualitas sifat fisis dan mekanis pada produksi *velg* sepeda motor [2].

Velg hasil pengecoran ini merupakan komponen kendaraan yang pada saat digunakan akan mengalami beban berulang (beban dinamis/fluktuatif), bahkan kadang-kadang mengalami beban kejut, dimana jika fluktuasi tegangan ini cukup besar dan berulang-ulang, maka akan mengakibatkan kegagalan struktur. Kegagalan ini disebut sebagai kegagalan karena fatik (*fatigue*), yaitu retak yang merambat di bawah beban dinamis. Selain itu apabila suatu bahan mengandung retak, meskipun pada skala mikro seperti *void*, inklusi dan bekerja pada beban dinamis, maka akan menyebabkan kegagalan fatik. Adanya retak akan menimbulkan tegangan yang sangat tinggi pada ujung retak walaupun beban bekerja pada kondisi normal, tegangan tersebut akan melampaui kekuatan bahan, sehingga kegagalan bahan tak dapat dihindari [3].

Penelitian tentang karakteristik kekuatan fatik pada aluminium tuang, menunjukkan bahwa *remelting* mempengaruhi sifat mekanis paduan aluminium, yaitu terdapat penurunan kekerasan dan penurunan siklus (N) *fatik raw material*. Hasil pengujian fatik menunjukkan bahwa proses *remelting* dapat menurunkan umur fatik. Hal ini dikarenakan oleh adanya porositas ataupun penyusutan pada saat logam

yang sedang bertransformasi dari fasa cair ke padat [7].

Penelitian pada karakteristik fatik terhadap perbedaan ukuran inklusi mikrostruktur dari paduan aluminium cor A356, memperlihatkan hubungan struktur dan karakteristik fatik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ukuran porositas terbesar (*maximum pore size*), inklusi dari porositas gas dan ukuran sel dendrit dapat mempengaruhi umur fatik. [8].

Porositas dipahami sebagai kunci untuk memprediksi umur fatik dari pengecoran aluminium. Prediksi dan ukuran sebenarnya dari porositas kritis menunjukkan tentang permukaan patah fatik dari spesimen patah tersebut dapat dijadikan sebagai bahan perbandingan [6].

Cacat lapisan oksidasi (*oxide film*), atau inklusi (*intermetallic inclusions*), dapat menyebabkan inisiasi retak fatik, menurunkan umur pakai (*lifetime*), dan mengurangi *cyclic strength* khususnya pada siklus yang besar. Kegagalan utama yang terjadi adalah porositas yang disebabkan oleh *microshrinkage* dan gas yang menyebabkan terjadinya *void*. Penelitian menunjukkan bahwa retak fatik mendominasi inisiasi pada *void*, jika diameternya lebih besar dari yang diperkirakan [10].

2. Metodologi Penelitian

Material yang digunakan adalah aluminium *scrap* yang merupakan hasil pengecoran ulang (*remelting*) pada putaran mesin *centrifugal casting* 400, 500, 600 dan 700 rpm.



(a)



(b)

Gambar 1. Proses Centrifugal Casting
a) *Pre-heating* Cetakan
b) *Penuangan Logam Cair*

Tabel 1. Sifat Fisis Mekanis Bahan Penelitian

RP M	Uji Tarik		Kekerasan (kg/mm ²)	Impact (j/mm ²)	Densitas (g/mm ³)
	σ (kg/mm ²)	% σ			
400	16,89	4,11	36,67	0,028	2,6383
500	16,31	4,20	38,66	0,033	2,6137
600	16,36	4,15	41,35	0,029	2,6687
700	17,69	4,33	37,15	0,063	2,6175

Tabel 2. Komposisi Bahan Penelitian

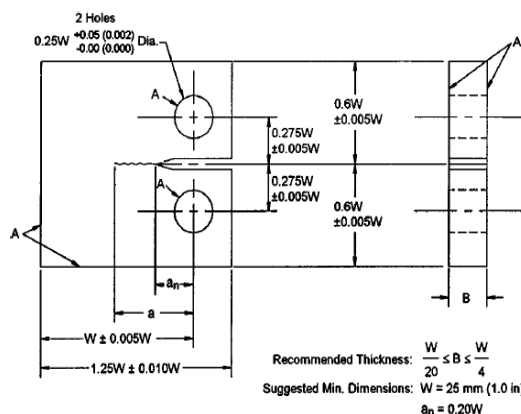
Unsur	Spesimen uji
Si	6,95
Fe	<0,1474
Cu	0,03
Mn	0,0036
Mg	0,2683
Zn	0,0326
Ti	0,1329
Cr	0,0027
Ni	0,0032
Pb	0,0006
Sn	0,0033
Al	92,43

Spesimen uji fatik diambil dari bagian terluar *velg* dengan pertimbangan bahwa pada bagian *velg* ini yang akan lebih banyak mendapatkan beban saat *velg* digunakan.



Gambar 2. Velg Centrifugal Casting

Benda uji yang digunakan adalah CTS (Compact Test Specimen) berdasarkan ASTM E647, dengan lebar $W = 28$ mm dan tebal $B = 6,5$ mm [1].



Gambar 3. Benda Uji CTS berdasarkan ASTM E 647

Penentuan beban fatik didasarkan pada besarnya kekuatan tarik (σ), dimana beban ini akan disetarakan dengan beban pada mesin uji fatik yaitu pada beban 2000 kg dengan menentukan persentase level tegangan pada mesin uji fatik yang setara dengan 6% σ beban uji fatik. Setelah diperoleh beban fatik, maka P_{max} , P_{min} dan σ_P dapat ditentukan dengan menggunakan stress ratio $R = 0,1$.

Pengujian dilakukan dengan mengamati setiap pertambahan panjang retak yang terjadi pada sisi depan spesimen (a_1) dan sisi belakang spesimen (a_2), dimana data-data tersebut digunakan untuk melihat hubungan antara pertambahan panjang retak (a) dan jumlah siklus (N). Data-data tersebut kemudian diolah untuk mendapatkan hubungan laju perambatan retak (da/dN) terhadap perubahan faktor intensitas tegangan (ΔK) dengan menggunakan metode *incremental polynomial* berdasarkan ASTM E647 [1]. Persamaan yang digunakan untuk menentukan laju perambatan retak adalah:

$$a_i = b_0 + b_1 \left(\frac{N_i - C_1}{C_2} \right) + b_2 \left(\frac{N_i - C_1}{C_2} \right)^2 \quad (1)$$

$$\left(\frac{da}{dN} \right)_{a_i} = \frac{b_1}{C_2} + 2b_2 \left(\frac{N_i - C_1}{C_2} \right) \quad (2)$$

Sedangkan perubahan faktor intensitas tegangan diperoleh dari persamaan berikut:

$$\Delta K = \frac{\Delta P}{B\sqrt{W}} \frac{(2 + \alpha)}{(1 - \alpha)^2} (0.886 + 4.64\alpha - 13.32\alpha^2 + 14.72\alpha^3 - \dots) \quad (3)$$

Dengan:

$$\Delta P = P_{max} - P_{min} \quad \alpha = \frac{a_2}{W} \text{ untuk } \frac{a_2}{W} \geq 0.2$$

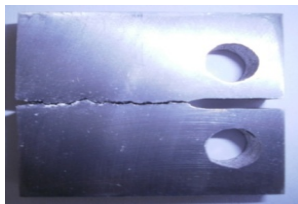
Agar diperoleh sebuah *trendline* hubungan da/dN - ΔK , maka data-data tersebut dibuat dalam grafik dengan skala log pada da/dN dan ΔK , sehingga diperoleh persamaan garis yang dapat digunakan untuk menentukan karakteristik perambatan retak fatik (konstanta Paris "C dan n") yang memenuhi persamaan:

$$\frac{da}{dN} = C(\Delta K)^n \quad (4)$$

3. Hasil dan Pembahasan

Dari gambar 5 terlihat bentuk permukaan patahan dari spesimen setelah uji fatik, dimana ada dua daerah patahan yaitu daerah patahan fatik (permukaan mengkilat) dan daerah patahan statis (permukaan

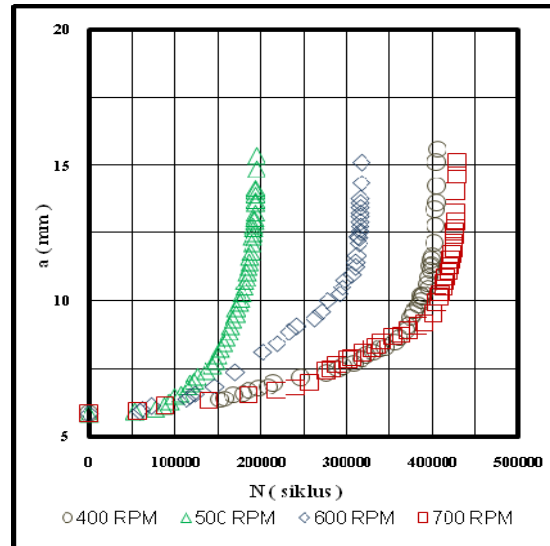
buram/kelabu). Pada daerah patahan fatik, laju perambatan retak akan merambat dengan cepat bila bentuk permukaan patahan rata, sedangkan bila permukaan tidak rata, maka laju perambatan retak akan lebih lambat dibandingkan dengan permukaan patahan yang rata, hal ini diakibatkan adanya percabangan retak yang merambat dari ujung retak. Hasil pengamatan pertambahan panjang retak terhadap jumlah siklus dapat dilihat pada gambar 6. Dari gambar 6 terlihat bahwa putaran 700 rpm memiliki jumlah siklus tertinggi yaitu 428.200 siklus, sedangkan putaran 500 rpm dengan siklus terendah yaitu 194.500 siklus. Putaran 400 rpm memiliki jumlah siklus yang lebih besar dari pada 500 rpm karena putaran 400 rpm memiliki sifat mekanis yang lebih baik dari pada 500 rpm, sehingga berpengaruh terhadap perambatan retak yang terjadi. Pada gambar 3 juga terlihat bahwa putaran 400 rpm memiliki jumlah siklus yang lebih banyak dari pada 600 rpm, tetapi pada daerah perambatan retak fatik putaran 600 rpm memiliki laju perambatan retak fatik yang lebih rendah.



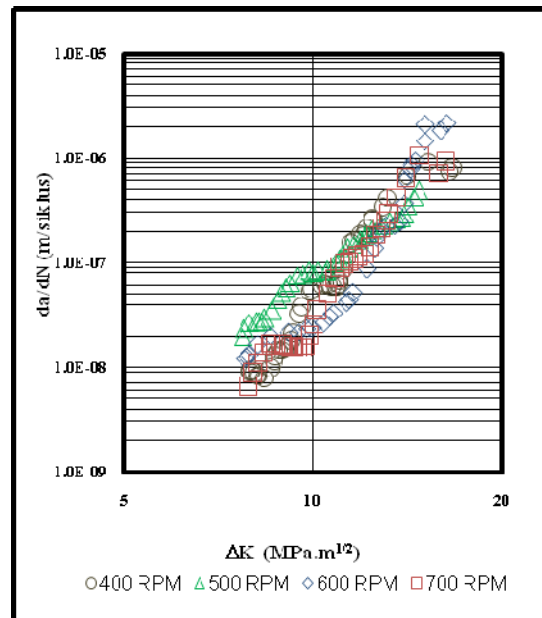
Gambar 4. Spesimen Setelah Uji Fatik



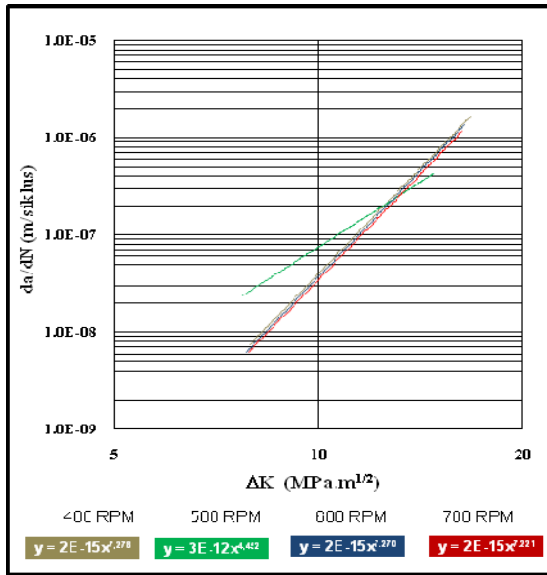
Gambar 5. Permukaan Patah Spesimen Uji Fatik



Gambar 6. Hubungan Panjang Retak (a) dan Jumlah Siklus (N)



(a)



(b)
Gambar 7. (a) Hubungan da/dN dan ΔK
(b) Trendline Hubungan da/dN dan ΔK

Hasil pengujian fatik dan pengolahan data hubungan da/dN - ΔK dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 3. Hasil Pengujian Perambatan Retak Fatik

Putaran (rpm)	Jumlah Siklus (N)	Konstanta Paris	
		C	n
400	405500	2×10^{-15}	7,278
500	194500	3×10^{-12}	4,452
600	317403	2×10^{-15}	7,270
700	428200	2×10^{-15}	7,221

Putaran 700 rpm merupakan putaran *centrifugal casting* dengan laju perambatan retak fatik terendah yaitu pada persamaan Paris $da/dN = 2 \times 10^{-15} (\Delta K)^{7,221}$ dengan jumlah siklus 428.200 siklus, sedangkan laju perambatan retak fatik tertinggi pada putaran 500 rpm yaitu pada persamaan Paris $da/dN = 3 \times 10^{-12} (\Delta K)^{4,452}$ dengan jumlah siklus 194.500 siklus. Perbedaan laju perambatan retak fatik pada putaran 400, 600 dan 700 rpm tidak terlalu berbeda jauh yaitu pada harga C yang sama (2×10^{-15}), terjadi perubahan pada n yang tidak terlalu signifikan yaitu $n=7,221$ (400 rpm), $n=7,270$ (600 rpm) dan $n=7,278$ (700 rpm). Selain itu juga terlihat bahwa putaran 400 rpm memiliki laju perambatan retak yang lebih rendah dari pada 500 rpm. Hal ini disebabkan karena putaran 400 rpm memiliki sifat fisis mekanis yang lebih baik dari pada 500 rpm. Selain itu juga dapat disebabkan karena adanya distribusi porositas yang tidak seragam pada daerah perambatan retak. Faktor material yang merupakan bahan *scrap* juga turut mempengaruhi perbedaan laju perambatan retak yang terjadi karena material tersebut merupakan hasil pengecoran ulang (*remelting*), dimana paduan aluminium *scrap* tersebut

umumnya telah mengalami beberapa kali perlakuan untuk memenuhi suatu fungsi tertentu, seperti ketahanan korosi, keindahan, dan lain sebagainya, sehingga dapat mempengaruhi sifat fisis mekanis dan karakteristik perambatan retak fatik.

4. Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa putaran 700 rpm merupakan putaran *centrifugal casting* dengan laju perambatan retak fatik terendah yaitu pada harga konstanta paris $C=2 \times 10^{-15}$ dan $n=7,221$. Perbedaan laju perambatan retak fatik pada putaran 400, 600 dan 700 rpm tidak terlalu signifikan dimana pada harga C yang sama (2×10^{-15}) terjadi perubahan pada n yang tidak terlalu signifikan, yaitu $n=7,221$ (400 rpm), $n=7,270$ (600 rpm) dan $n=7,278$ (700 rpm). Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa dengan adanya variasi putaran *centrifugal casting*, maka ada kecenderungan laju perambatan retak fatik semakin rendah.

Daftar Notasi

C dan n = konstanta Paris
 b_0, b_1, b_2 = konstanta regresi
 N_i = jumlah siklus ke-i
 a_i = panjang retak hasil regresi
 $n = 1, 2, 3, \dots$ dan seterusnya (tergantung jumlah data)
 W = tebal spesimen
 b = lebar spesimen
 a/b = perbandingan antara panjang retak dengan lebar benda uji
 P = amplitudo pembebanan

Daftar Pustaka

- [1] Annual Book of American Society for Testing and Materials Standards, 2005, Standard Test Method for Measurement of Fatigue Crack Growth Rates, Section 03, Volume 03.01.
- [2] Bambang, U., 2010, Pengaruh Kecepatan Putar terhadap Sifat Fisis dan Mekanis pada Centrifugal Casting Aluminium Alloy Velg Sepeda Motor, Tesis, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- [3] Broek, D., 1984, Elementary Engineering Fracture Mechanics, Marthinus Nijhoff Publishers, Netherlands.
- [4] Budiyo, A., Jamasri, 2004, Pengaruh Remelting terhadap Ketangguhan Paduan Aluminium, Media Teknik No. 3 Tahun XXVI.
- [5] Callister, Jr.W.D., 2007, Material Science and Engineering - An Introduction, 7th ed, John Wiley & Sons, Inc.

- [6] Fintová, S., Konečná, R., Nicoletto, G., 2010, Influence of Shrinkage Porosity on the Fatigue Behavior of Cast AlSi7Mg, Metal 2010, 18-20.5.2010, Roznov pod Radhostem, Czech Republic, EU.
- [7] Harsono, C.S., 2006, Karakteristik Kekuatan Fatik pada Aluminium Tuang, Skripsi, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang.
- [8] Jordon, J.B., Horstemeyer, M.F., Yang, N., Major, J. F., Gall, K.A., Fan, J., McDowell, D.L., 2010, Microstructural Inclusion Influence on Fatigue of a Cast A356 Aluminum Alloy, Metallurgical and Materials Transactions A, Volume 41A.
- [9] Joshi, A.M., 2010, Centrifugal Casting, Department of Metallurgical Engineering & Material Science, Indian Institute of Technology, Bombay, India.
- [10] Mayer, H., Papakyriacou, M., Zettl, B., Stanzl, S.E-Tschegg, 2002, Influence of Porosity on the Fatigue Limit of Die Cast Magnesium and Aluminium, Elsevier, International Journal of Fatigue 25 (2003) 245–256.
- [11] Nugroho, 2011, Perbandingan Pengecoran Sentrifugal dan Gravitasi terhadap Kualitas Hasil Coran Velg Aluminium A356, Tesis, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.