

## **PENGARUH ARTIFICIAL AGING TERHADAP LAJU KOROSI BALING-BALING KAPAL MOTOR BERBAHAN ALUMINIUM**

Saiful Huda Aristianto  
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri,  
Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta  
Jl. Kalisahak 28 Yogyakarta 55222, Indonesia

### **ABSTRACT**

*Ship Propeller for motor boat using aluminum and fabricated by the casting process and has an aerodynamic shape with a curve that does not allow for a strengthening by cold work using the rolling method, but the reinforcement can be done with the formation of the second phase through a process of diffusion and precipitation, one of which is to aging process. On the other hand, strengthened by the formation of the second phase will affect the corrosion resistance of the material due to the emergence of a potential difference of the two existing phases that will result in galvanic corrosion. This study aimed to determine the effect of aging on changes in physical and mechanical properties and corrosion resistance of the ship propeller made of aluminum 4343 series. To determine the effect of aging on the physical and mechanical properties and corrosion resistance, aging process done with a variable temperature of 120<sup>0</sup>, 170<sup>0</sup> and 220<sup>0</sup> C and a variable time 45, 90, 180 and 240 minutes. Followed by testing, including test hardness, wear, grain size, micro structure and the rate of corrosion. The highest hardness is obtained at the aging temperature of 170<sup>0</sup> C and 180 min holding time of 41 HRA, whereas the lowest hardness obtained by aging temperature 120<sup>0</sup> C with a holding time of 240 minutes of 20.1 HRA. Meanwhile, the wear test results showed that the material before the aging has value wear is 0.0000051295 gr/mm<sup>2</sup> sec after the aging the value is close to 0 (zero). While the results of –grain size test obtained at a temperature aging of 120<sup>0</sup> C grain size relative stable at ranged between 36 μm, while the smallest grains obtained from the aging time of 180 minutes with the aging temperature of 220<sup>0</sup> C that is equal to 28 μm and The biggest item is obtained from the aging time 180 minutes with a temperature of 170<sup>0</sup> C is equal to 42 μm. Hardness test results obtained from the price of the highest hardness is obtained from the aging time 180 minutes with a temperature of 170<sup>0</sup> C that is equal to 41 HRA, while corrosion resistance tests performed on material aging results with the temperature 170<sup>0</sup> C and hold time of 180 minutes is obtained results the corrosion rate is 2,92 mm / yr, when compared with the raw materials that have corrosion rate 3.72 mm / yr mean corrosion rate decreased by 21.5%.*

*Keywords: Aging, the rate of corrosion, , wear, ship propellers*

### **INTISARI**

Baling-baling kapal motor menggunakan bahan aluminium dan dibuat dengan proses pengecoran serta memiliki bentuk dengan lekukan aerodinamis yang tidak memungkinkan dilakukan penguatan dengan pengerjaan dingin menggunakan metode pengerolan, akan tetapi penguatan dapat dilakukan dengan pembentukan fasa kedua melalui proses difusi dan persipitasi, salah satunya adalah dengan proses aging . Di lain pihak, penguatan dengan pembentukan fasa kedua akan mempengaruhi ketahanan korosi dari material karena timbulnya beda potensial dari dua fasa yang ada yang akan mengakibatkan timbulnya korosi galvanis.. Untuk mengetahui pengaruh aging terhadap sifat fisis dan mekanis serta ketahanan korosi baling-baling kapal berbahan aluminium seri 4343, dilakukan proses aging dengan variabel suhu 120<sup>0</sup>, 170<sup>0</sup> dan 220<sup>0</sup> C dan variabel waktu 45, 90, 180 dan 240 menit. Selanjutnya dilakukan pengujian yang meliputi uji kekerasan, keausan, besar butir, sruktur mikro dan laju korosi. Kekerasan tertinggi diperoleh pada suhu aging 170<sup>0</sup> C dan waktu tahan 180 menit sebesar 41 Hra , sedangkan kekerasan terendah diperoleh suhu aging 120<sup>0</sup> C dengan waktu tahan 240 menit sebesar 20,1 HRA. Sementara itu hasil uji keausan menunjukkan bahwa pada material sebelum di aging nilai keausannya adalah 0,0000051295 gr/mm<sup>2</sup> dtk sedang nilai keausan sesudah aging mendekati 0 (nol). Sedangkan dari hasil uji besar-butir diperoleh hasil pada temperatur aging 120<sup>0</sup> C besar butir relatif setabil pada waktu aging yang berbeda yaitu berkisar antara 36 μm, sedangkan butir terkecil diperoleh dari waktu

aging 180 menit dengan temperatur aging 220 ° C yaitu sebesar 28 µm dan butir terbesar diperoleh dari waktu aging 180 menit dengan temperatur 170 ° C yaitu sebesar 42 µm. Dari hasil uji kekerasan didapat harga kekerasan tertinggi diperoleh dari waktu aging 180 menit dengan temperatur 170 ° C yaitu sebesar 41 Hra, sementara itu pengujian ketahanan korosi dilakukan pada material hasil aging dengan temperatur 170 ° C dan waktu tahan 180 menit diperoleh hasil laju korosi 2,92 mm/th, jika dibandingkan dengan raw material yang memiliki laju korosi 3,72 mm/th berarti mengalami penurunan laju korosi sebesar 21,5 %.

**Katakunci:** Aging, Laju korosi, ketahanan aus, baling-baling kapal

## PENDAHULUAN

Baling-baling pada kapal nelayan berfungsi sebagai komponen untuk meneruskan dan mengubah momen torsi menjadi gaya dorong dengan arah aksial, dimana putaran dan daya dari motor dengan melewati sejumlah mekanisme pemindah daya dan putaran memutar baling-baling kapal nelayan dengan torsi tertentu, sehingga menyebabkan kapal dapat melaju.. Bahan baling – baling kapal nelayan yang banyak digunakan adalah kuningan (*brass*) dan paduan aluminium (*aluminium alloy*). Baling – baling kapal nelayan dibuat dengan cara pengecoran (*casting*).

Lingkungan kerja baling – baling kapal nelayan berupa air sungai dan air laut. Ketika baling – baling berputar maka di kedua permukaan baling – baling akan mengalami pembebanan yang menyebabkan permukaan terkelupas dan terkikis. Penyebab kerusakan berupa patahnya baling-baling pada kapal nelayan tidak hanya disebabkan oleh beban kerja baling – baling, melainkan sebagai hasil akumulasi antara kerja baling – baling dan lingkungan kerjanya yang korosif.

Banyak cara yang telah dilakukan untuk memperkecil kerusakan baling – baling yang disebabkan oleh akumulasi kerja dan lingkungan kerjanya yang korosif, salah satunya adalah dengan cara melapisi baling – baling dengan nikel yang bertujuan untuk meningkatkan kekerasan permukaan baling – baling agar tahan terhadap benturan dan memiliki ketahanan korosi yang lebih baik. Selain dengan cara pelapisan penguatan struktur dapat dilakukan dengan cara menghaluskan butir logam dan presipitasi dan dispersi. Baling – baling merupakan produk hasil pengecoran (*casting product*), sehingga tidak mungkin jika dilakukan proses pengerolan untuk meningkatkan kekuatan bahan, oleh karena itu metode yang digunakan untuk melakukan penguatan terhadap bahan aluminium paduan yang digunakan untuk baling – baling adalah dengan cara pengendapan (*presipitasi*) atau

dikenal dengan metode penuaan (*aging*), maka pada kesempatan penelitian ini akan diangkat judul “Pengaruh *Artificial Aging* Terhadap Laju Korosi Baling – Baling Berbahan Aluminium Paduan Pada Motor Tempel Nelayan ”

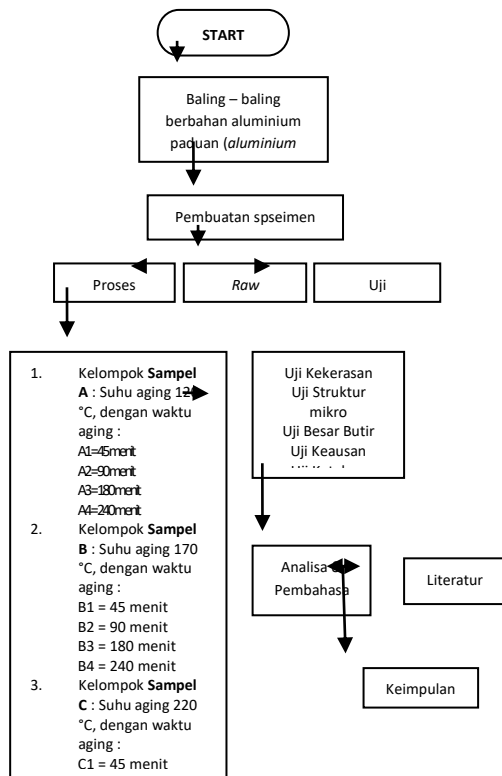
Permasalahan yang ada pada baling-baling motor tempel adalah kekuatan dan ketahanan aus serta ketahanan korosi karena baling-baling bekerja pada lingkungan yang korosif, untuk meningkatkan kekuatan dan ketahanan aus dilakukan proses aging karena pada baling-baling kapal motor tempel tidak mungkin dilakukan penguatan dengan cara pengerjaan dingin karena bentuk baling-baling yang spesifik. Dilain pihak, penguatan dengan proses aging diperoleh dengan adanya endapan fasa kedua, sementara itu adanya fasa kedua akan menyebabkan terjadinya galvanis yang dapat menyebabkan turunnya ketahanan korosi dari material, dalam penelitian ini akan dicermati pengaruh temperatur dan waktu aging terhadap perubahan sifat fisis dan mekanis serta ketahanan korosi untuk mendapatkan material yang paling menguntungkan yaitu memiliki kekuatan yang tinggi namun masih memiliki ketahanan korosi yang baik.

Tujuan penelitian pengaruh *artificial aging* terhadap tingkat laju korosi baling – baling berbahan aluminium paduan (*aluminium alloy*) pada motor tempel nelayan ini adalah:

- Mengetahui pengaruh *aging* pada aluminium paduan (*aluminium alloy*) sebagai bahan baling – baling pada motor tempel nelayan terhadap laju korosi dan sifat fisis mekanis.
- Mengetahui temperatur dan waktu *aging* (*holding time*) yang cocok diaplikasikan terhadap baling – baling kapal berbahan aluminium paduan (*aluminium alloy*)
- Menghasilkan baling – baling kapal berbahan aluminium paduan

(*aluminium alloy*) yang memiliki tingkat kekerasan, daya tahan terhadap aus (*wear*), dan daya tahan terhadap korosi yang lebih baik dibandingkan dengan baling – baling tanpa perlakuan *aging*

Urutan penelitian pengaruh *artificial aging* pada baling – baling berbahan aluminium paduan di tunjukan oleh diagram alir (*flowchart*) dibawah ini



**Gambar 1** Diagram alir penelitian

### Landasan teori

Fungsi sebuah *propeller* (baling-baling) adalah mengubah momentum *fluida* tempat *propeller* terendam menjadi gaya dorong (*thrust*). Rancangan dari *propeller* adalah didasarkan pada prinsip dasar dari teori *airfoil*, yang digunakan untuk penggerakan kapal motor yang menggunakan motor tempel. *Propeller* tidak dapat dirancang menurut teori momentum, meskipun beberapa hubungan yang mengaturnya dibuat terang dengan beberapa teori tersebut

Lingkungan yang berada disekitar logam secara umum dapat dibagi kedalam empat kelompok, yaitu :

- a. Lingkungan air (*propeller* kapal laut, anjungan pengeboran lepas pantai)

- b. Lingkungan udara (konstruksi sipil seperti jembatan dan gedung)
- c. Lingkungan tanah (pipa yang dikubur dalam tanah)
- d. Lingkungan khusus ( knalpot kendaraan bermotor dengan temeratur tinggi, dan reaktor kimia yang memproses bahan kimia seperti pada perusahaan pupuk)

Konsentrasi garam-garam terlarut memegang peranan penting disamping faktor – faktor lain yang juga menjadi penunjang kecepatan korosi ini. Konsentrasi *ion* atau molekul tersebut dapat dilihat pada tabel dibawah ini

**Tabel 1.** Konsentrasi ion atau molekul pada air laut dengan salinitas 35 ‰

Density of seawater 1.023 g/cm<sup>3</sup> at 25 °C (75 °F)

Ion or molecule	Concentration	
	m mol/kg of seawater	g/kg of seawater
Na <sup>+</sup>	468.5	10.77
K <sup>+</sup>	10.21	0.399
Mg <sup>2+</sup>	53.08	1.290
Ca <sup>2+</sup>	10.28	0.412
Sr <sup>2+</sup>	0.09	0.008
Cl <sup>-</sup>	545.9	19.354
Br <sup>-</sup>	0.84	0.067
F <sup>-</sup>	0.07	0.0013
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2.30	0.140
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	28.23	2.712
B(OH) <sub>3</sub>	0.416	0.0257

Source: Ref. 3

[www.ocean.udel.edu/seagrant](http://www.ocean.udel.edu/seagrant).

Kerusakan berupa patahnya *propeller* pada kapal tidak hanya disebabkan oleh beban kerja *propeller*, melainkan sebagai hasil akumulasi antara kerja *propeller* dan lingkungan kerjanya. Pada *propeller* kapal nelayan adalah ketika *fluida* yang berupa air menerjang permukaan *propeller* semakin banyak, berkurangnya tekanan *hidrodinamik* di tempat-tempat tertentu menyebabkan *fluida* menguap sehingga gelembung-gelembung terbentuk dipermukaan *propeller*. Efek mekanik sama yang menyebabkan berkurangnya tekanan itu juga menyebabkan naiknya tekanan yang membuat gelembung-gelembung tadi pecah dengan gaya yang cukup besar. Jika gaya-gaya ini lebih kuat dari batas *elastisitas propeller* maka permukaan *propeller* mengalami *deformasi*, akibatnya lapisan pelindung pecah dan memicu terjadinya korosi. Pada permukaan yang kasar itu menjadi tempat yang lebih baik untuk membentuk gelembung-gelembung

baru sehingga proses korosi akan semakin merajalela.

Korosi adalah serangan merusak yang mempengaruhi logam akibat reaksi kimia dan elektrokimia dengan lingkungannya, serangan yang merusak logam berpengaruh terhadap penurunan mutu logam. Penurunan mutu logam oleh efek fisik seperti erosi (*erosion*), aus (*wear*) tidak dapat disebut sebagai korosi. Korosi terjadi apabila penurunan mutu logam oleh efek fisik disertai dengan serangan kimia terhadap logam tersebut. Korosi (*corrosion*) adalah serangan yang merusak dan mengakibatkan penurunan mutu logam akibat reaksi kimia dan elektrokimia dengan lingkungannya. Korosi (*corrosion*) dan karat (*rust*) merupakan dua istilah yang sama, tetapi karat (*rust*) dikhususkan untuk serangan yang merusak akibat reaksi kimia dan elektrokimia antara besi (*iron*) dengan lingkungannya. Dari definisi korosi ataupun karat dapat diartikan kesimpulan bahwa :

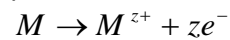
- Korosi berkaitan dengan logam, baik ferro atau non ferro (ferro : kelompok besi dan kelompok non ferro : aluminium, tembaga, seng, timah hitam, timah putih).
- Korosi adalah proses yang merugikan dan sangat tidak diinginkan, karena berkaitan dengan degradasi kualitas logam
- Degradasi kualitas logam bukan hanya diakibatkan oleh reaksi kimia namun melibatkan reaksi elektrokimia.
- Reaksi kimia dan reaksi elektrokimia terjadi antara logam dengan lingkungannya, lingkungan adalah semua unsur yang berada disekitar logam.

Karat (*rust*) adalah sebutan yang belakangan ini hanya dikhususkan bagi korosi pada besi (*iron*). Walaupun besi bukan logam pertama yang dimanfaatkan manusia, tidak dapat diingkari bahwa besi paling banyak digunakan, dan karena itu tidak mengherankan jika istilah korosi dan karat hampir dianggap sinonim. Korosi tidak dapat terjadi pada material bukan logam (*nonmetal*), seperti: plastik (*plastics*), kayu (*wood*), granit (*granite*), dan semen biru (*portland cement*)

Reaksi elektrokimia yang terjadi pada proses korosi adalah reaksi yang melibatkan perpindahan elektron antara suatu logam

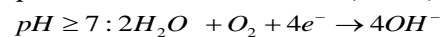
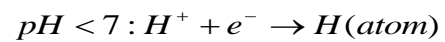
dengan berbagai zat dilingkungannya. Biasanya kita dapat mengenali daerah-daerah pada permukaan logam yang terkorosi tempat reaksi-reaksi anoda dan katoda berlangsung, dan daerah-daerah ini disebut anoda dan katoda, empat komponen penting dalam sel ini adalah :

- Anoda**, anoda biasanya terkorosi dengan melepaskan elektron-elektron dari atom-atom logam netral untuk membentuk *ion-ion* bersangkutan. Reaksi korosi suatu logam *M* biasa dinyatakan dalam persamaan sederhana



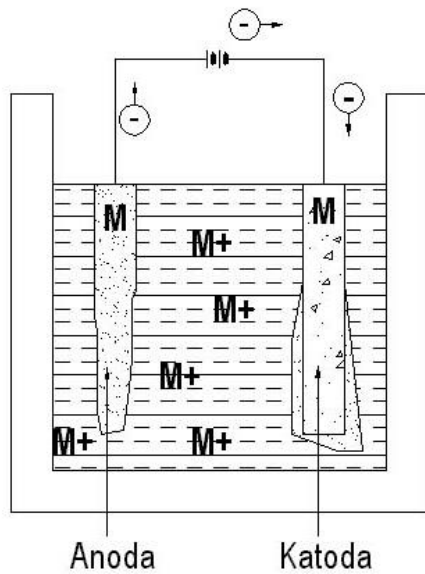
Harga *z* merupakan valensi, umumnya,  $z = 1, 2, \text{ atau } 3$

- Katoda**, katoda biasanya tidak mengalami korosi, dua reaksi yang penting dan umumnya mungkin terjadi pada katoda, tergantung *pH* larutan bersangkutan, adalah:



- Elektrolit**. Istilah ini diberika pada larutan, yang dalam hal ini harus bersifat menghantarkan listrik. Air sangat murni biasanya dianggap bukan elektrolit, namun dalam kehidupan sehari-hari lingkungan berair dianggap memiliki konduktivitas yang cukup sebagai elektrolit
- Hubungan listrik**, antara anoda dan katoda harus terdapat kontak listrik agar arus dalam sel korosi dapat mengalir. Hubungan secara fisik tidak diperlukan bila anoda dan katoda merupakan bagian dari logam yang sama.

Semua reaksi korosi dilingkungan air dapat dianggap tidak berbeda dengan sel korosi basah sederhana. Bahkan meskipun sel itu merupakan bagian dari permukaan logam yang sama, anoda dan katoda biasanya dapat dibedakan. Reaksi yang terjadi pada anoda dan katoda secara sederhana ditunjukkan oleh gambar dibawah ini.



Gambar 2 Reaksi pada anoda dan katoda untuk sel korosi basah sederhana (Van Vlack, 1991, Ilmu dan Teknologi Bahan, 486)

Secara umum laju korosi (*Corrosion Rate*) di ekspresikan sebagai massa yang hilang dibagi satuan luas yang dikalikan dengan waktu dan densitas dari bahan. Laju korosi diekspresikan dalam satuan mils per year (mpy), seperti pada persamaan (Fontana & Mars.G : 9 & 10) :

$$MPY = \frac{534W}{DAT} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dengan :  $W$  = Berat yang hilang (mg)  
 $D$  = Densitas dari bahan

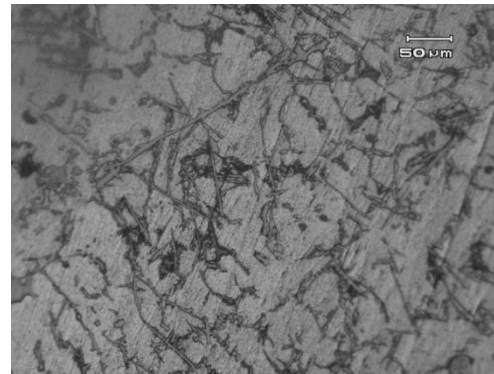
$$\left( \frac{g}{cm^3} \right)$$

$A$  = Luas permukaan bahan ( $in^2$ )

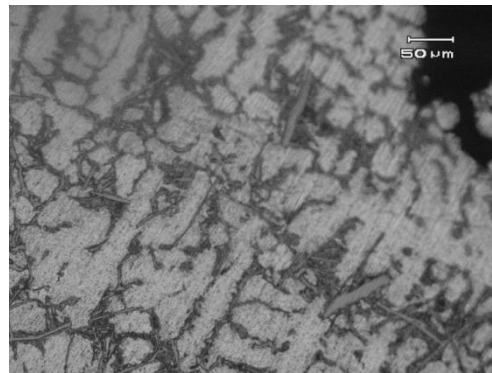
$T$  = Waktu ( Jam )

**PEMBAHASAN Struktur Mikro**

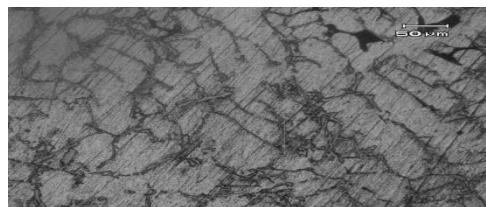
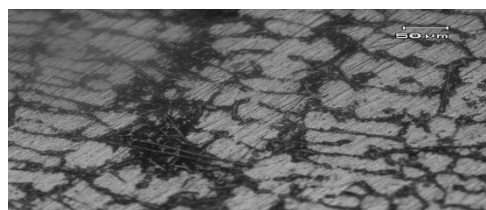
Secara umum proses perlakuan panas (*heat treatment*) pada aluminium dapat berpengaruh terhadap sifat – sifat mekanik atau fisis dari aluminium, sehingga dilakukan pengujian struktur mikro untuk mengetahui variasi proses *artificial aging* yang dilakukan terhadap baling – baling kapal nelayan, terhadap struktur mikronya, seperti ditunjukkan oleh gambar hasil pengujian struktur mikro dibawah ini dibawah ini.



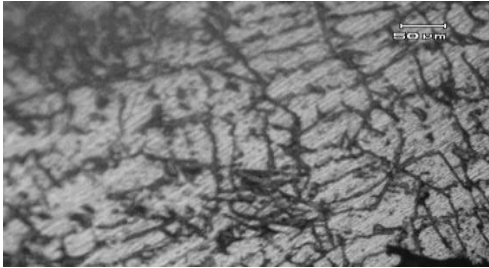
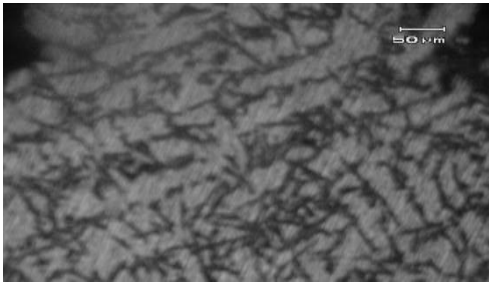
Gambar 3. Struktur mikro bahan baling – baling kapal nelayan : (A) Larutan padat aluminium, (B) Eutektik silikon, (C)  $Mg_2Si$ , (D)  $Fe_2Si_2Al_9$ , (E)  $Cu_2Mg_8Si_6Al_5$  (Pembesaran 500 X)



Gambar 4 Struktur mikro sampel (A3) 180 Menit 120° C & (A4) 240 Menit 120° C (pembesaran 100X)



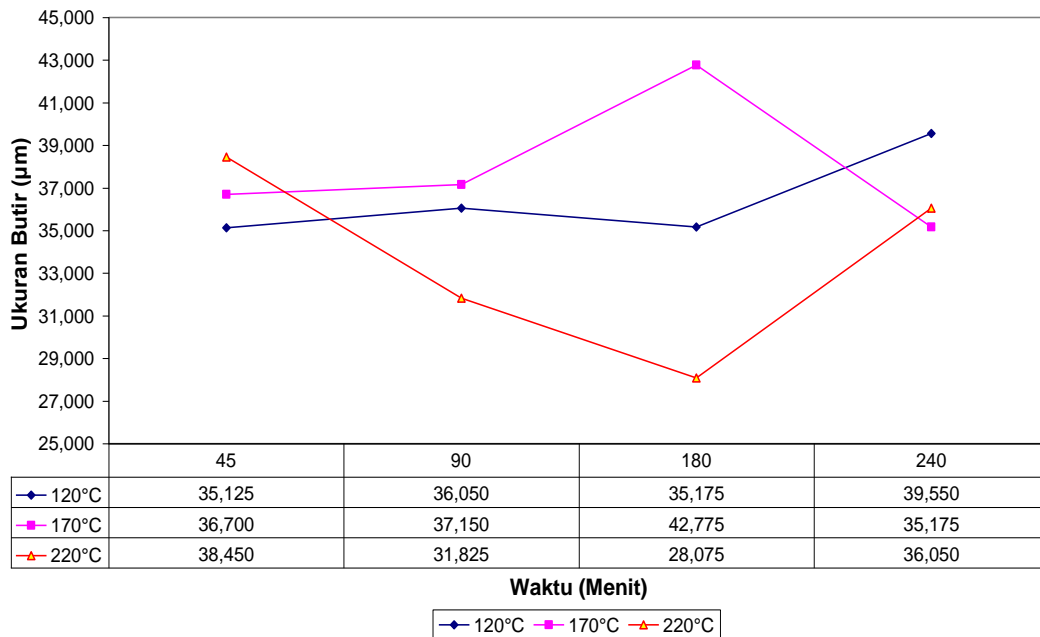
Gambar 5. Struktur mikro sampel (B3) 180 Menit 170° C & (B4) 240 Menit 170° C (pembesaran 100X)



**Gambar 6.** Struktur mikro sampel (C3) 180 Menit 220° C&

(C4) 240 Menit 220° C (pembesaran 100X)

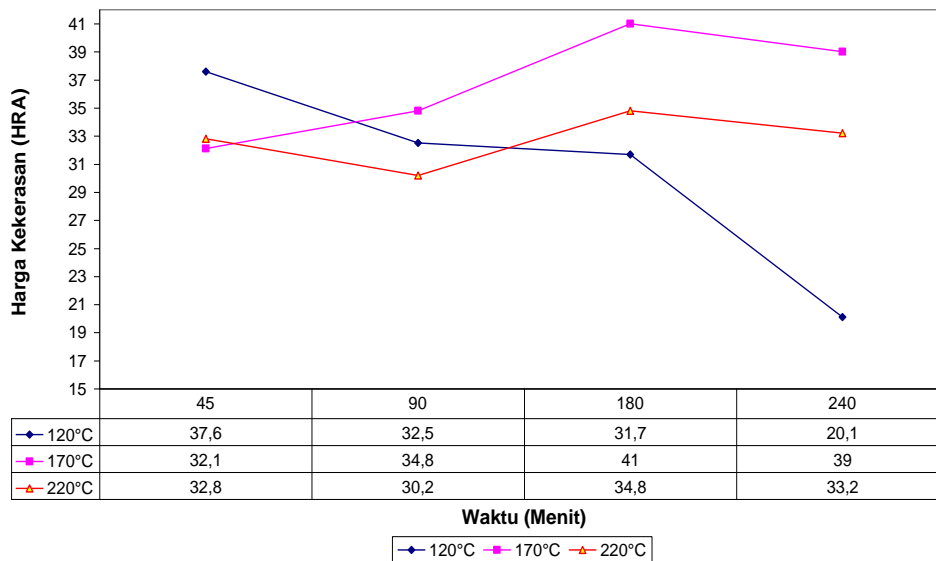
Berdasarkan pengamatan struktur mikro, pengujian komposisi kimia, dan didukung oleh data ASM Handbook Vol. 9 Metallography and Microstructures bahwa bahan baling – baling kapal nelayan merupakan aluminium dengan paduan silikon (Si) ditambahkan tembaga (Cu) dan magnesium (Mg), berdasarkan sistem penandaan paduan aluminium untuk produk pengecoran, aluminium bahan baling – baling masuk kedalam kelompok 4343, yaitu paduan aluminium dengan 1,92Cu-6,25Si-0,31Mg, dan dapat dikategorikan sebagai bahan yang dapat dikeraskan dengan perlakuan panas (*heat-treatable*). Pada foto mikro ditunjukkan Gambar 2 Larutan padat aluminium (putih), eutektik silikon (abu – abu gelap dan tajam), Mg<sub>2</sub>Si (hitam), Fe<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>Al<sub>9</sub> (abu – abu medium), Cu<sub>2</sub>Mg<sub>8</sub>Si<sub>6</sub>Al<sub>5</sub> (abu – abu cerah)



**Gambar 7.** Grafik hubungan proses artificial aging terhadap ukuran butir

Gambar 6 dalam grafik menunjukkan bahwa pada temperatur 170°C menunjukkan adanya perubahan ukuran butir, terutama 170°C 180 menit, yaitu sebesar 42,755 μm, hal ini disebabkan oleh terjadinya difusi larutan CuAl<sub>2</sub> kedalam larutan padat aluminium, pada

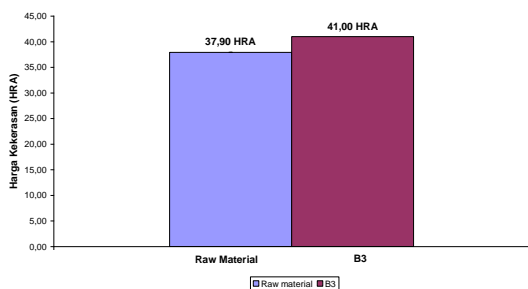
saat proses difusi terjadi atom – atom yang terdifusi memiliki energi sehingga mampu bergerak akan tetapi tidak melewati batas butir, sehingga tidak terjadi pertumbuhan butir dan hanya terjadi perubahan ukuran butir (pengkasaran).



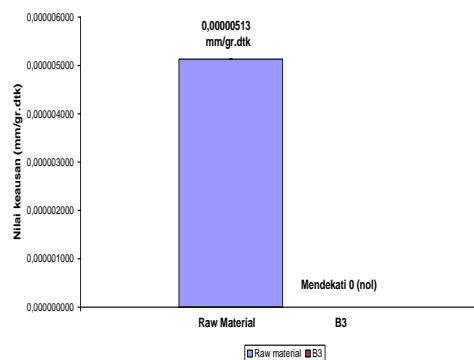
**Gambar 8.** Grafik hubungan proses artificial aging terhadap kekerasan

Dari grafik yang ditunjukkan oleh Gambar 7 menunjukkan harga kekerasan yang meningkat hanya diperoleh sampel 170°C 180 menit dan sampel 170°C 240 menit dengan harga kekerasan 41 HRA dan 39 HRA, sehingga prosentase peningkatan harga kekerasan sebesar 8,18 % untuk sampel 170°C 180 menit dan 2,90 % untuk sampel 170°C 240 menit dibandingkan harga kekerasan yang ditunjukkan oleh raw material (sampel acuan) sebesar 39,7 HRA.

Kekerasan yang ditunjukkan oleh masing – masing sampel dipengaruhi oleh produk endapan (presipitat), pada temperatur 170°C endapan (presipitat) hasil artificial aging terbentuk merata pada larutan padat aluminium sehingga kekerasannya lebih tinggi dibanding pada temperatur 120°C dan 220°C dimana endapan (presipitat) terjadi pada batas butir.

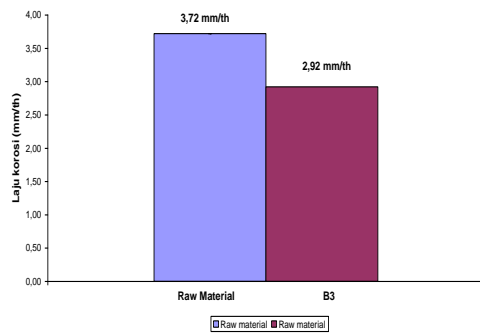


**Gambar 9.** Grafik hubungan proses artificial aging terhadap kekerasan



**Gambar 10.** Grafik hubungan proses artificial aging terhadap ausan

Pada grafik di Gambar 9. diatas menunjukkan bahwa nilai keausan baling – baling kapal nelayan memiliki hubungan dengan harga kekerasan baling – baling kapal nelayan, dimana pada raw material dengan harga kekerasan sebesar 37,9 HRA nilai keausannya sebesar rata – rata sampel adalah 0,0000051295 gr/mm<sup>2</sup>dtk, sedangkan pada sampel B3 (170°C 180 menit) nilai keausannya yang ditunjukkan adalah mendekati 0 (nol) pada harga kekerasan 41 HRA.



**Gambar 11.** Grafik hubungan proses artificial aging terhadap laju korosi

Pada grafik di Gambar 10. diatas menunjukkan bahwa laju korosi memiliki hubungan dengan nilai keausan baling – baling kapal nelayan dimana pada sampel perbandingan dan sampel B3 (170°C 180 menit). nilai keausannya rata – rata pada sampel perbandingan adalah sebesar 0,0000051295 gr/mm<sup>2</sup>dtk dengan laju korosinya 3,72 mm/thn sedangkan pada sampel B3 (170°C 180 menit) nilai keausannya yang ditunjukkan adalah mendekati 0 (nol) dengan laju korosinya 2,92 mm/thn.

## KESIMPULAN

Artificial aging yang dilakukan pada baling-baling kapal dengan menggunakan motor tempel secara umum telah meningkatkan kualitas bahan baik secara fisik maupun mekanik, dimana secara fisik telah meningkatkan ketahanan korosi sebesar 21,5 %

sedangkan secara fisik telah meningkatkan kekerasan secara umum sebesar 9,75 %

## DAFTAR PUSTAKA

- B.H. Amstead, Phillip F. Ostwald, 1986, *“Teknologi mekanik”* Jilid 2, Erlangga, Jakarta.
- Chijiwa Kenji, 1996, *“Teknik Pengecoran Logam”*, alih bahasa Tata Surdia, edisi kedua, Pradya Paramitha, Jakarta.
- George E. Dieter, Alih Bahasa Sriati Dj., 1987, *“Metalurgi mekanik”*, Jilid 1, Erlangga, Jakarta.
- Lawrence H. Van Vlack, Alih Bahasa Sriati Dj, 1991, *“Ilmu dan Teknologi Bahan”*, Edisi Kelima, Erlangga, Jakarta.
- Surdia. T & Saito, 1995, *“Pengetahuan Bahan Teknik”*, Pradya Paramitha, Jakarta
- Trethewey, KR and Chamberlin. J, 1991, *“Korosi Untuk Mahasiswa Sains Dan Rekayasa”*, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- H. Uhlig and R. Revie, 1985, *“Corrosion And Corrosion Control”*, Jhon Wiley & Sons, New York
- Fontana, Mars.G, 1978, *“Corrosion Engineering”*, Edisi ke-2, Mc.Graw Hill, New York
- ASM HANDBOOK, 1992, formerly ninth edition metals handbook volume 9 *“Metallography and Mikrostrukturees”*, ASM Internasional, USA