

KARAKTERISASI SIFAT FISIK DAN MEKANIK JENDELA KAPAL PRODUK UMKM BERBAHAN BAKU LIMBAH ALUMINIUM

*Abitama Mukti Raharjo¹, Norman Iskandar²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. dan 62247460059

*E-mail: abi_tama@yahoo.com

Abstrak

Kebutuhan komponen kapal berbahan baku aluminium semakin meningkat. Kebutuhan ini selain untuk pengerjaan kapal baru juga untuk *spare part* kapal-kapal lama. Hal ini membuat industri kecil menengah tumbuh dan berkembang untuk bergerak dibidang ini. Pada industri kecil pengecoran logam kebanyakan tidak menggunakan bahan aluminium murni, namun memanfaatkan *scrap* maupun *reject* material dari bahan pengecoran yang sebelumnya. Sehingga hal ini mempengaruhi hasil dan kualitas dari barang yang dihasilkan. Salah satunya adalah UMKM Kota Tegal yang merupakan salah satu pusat industri pengecoran logam yang produk utamanya adalah komponen kapal. Tetapi produk yang diproduksi oleh UMKM ini belum ada pengujian terhadap sifat fisik dan mekaniknya sehingga belum memiliki spesifikasi teknis dan standar untuk pembuatan komponen kapal. Penelitian ini bertujuan untuk meneliti sifat mekanik dan sifat fisik paduan aluminium jendela kapal hasil produk UMKM terhadap standar kualitas perusahaan kapal internasional untuk komponen kapal. Pengecoran logam yang dilakukan dengan menggunakan *sand casting* dan diteliti sifat fisik maupun sifat mekaniknya dengan berbagai macam metode pengujian. Pengujian meliputi uji konduktivitas listrik, uji kekerasan, perhitungan *ultimate tensile strength*, uji densitas, dan uji komposisi. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa bahan jendela kapal produk UMKM di Tegal yang didapat memenuhi standar, dengan konten untuk jenis aluminiumnya yaitu 213.0 atau paduan Al-Cu, dengan nilai kekerasan dan UTS sebesar 48,8 HRB dan 318,67 MPa.

Kata Kunci: Daur ulang, limbah aluminium, *sand casting*, sifat fisik, sifat mekanik.

Abstract

The needs of shipping components made from aluminum is increasing. This needs not only for production of new ships but also for old ships spare part. This makes many small and medium industries growing and developing to work in this field. Most of small foundry industry do not use pure aluminum material, but utilizing scrap or reject material from the previous casting material. So this is affect the outcome and quality of the product. UMKM from Tegal City is one of central foundry industry which is the main product is ships component. But the product that produced by this UMKM has been no have any testing on the physical and mechanical properties so that do not have the technical specifications and standards for the manufacturing of ship component. This study aims to examine the mechanical and physical properties of ship window aluminum alloy produced by UMKM toward international ship company quality standards for ship components. Metal casting conducted by using sand casting and examined its physical properties and mechanical properties with a variety of testing methods. The test includes electrical conductivity, hardness, ultimate tensile strength calculations, density, and composition test. The results of the study showed that the material for ship windows produced by UMKM in Tegal is comply the standards, with content for aluminum type is 213.0 or Al-Cu alloy, with the hardness and UTS values 48,8 HRB and 318,67 MPa.

Keywords: Aluminum scrap, mechanical properties, physical properties, recycling, sand casting.

1. Pendahuluan

Aluminium merupakan logam ringan yang mempunyai sifat ketahanan korosi yang baik. Material ini digunakan dalam bidang yang luas bukan hanya untuk peralatan rumah tangga saja tetapi juga dipakai untuk kepentingan industri, misalnya untuk industri pesawat terbang, industri kapal, komponen-komponen mobil, komponen regulator dan konstruksi-konstruksi yang lain [1]. Selain sifat-sifat tersebut aluminium juga murah dan mudah didapat, sehingga penggunaan aluminium sebagai bahan dasar dari masa ke masa semakin meningkat. Akibat dari peningkatan penggunaan aluminium sebagai bahan dasar tersebut sehingga meningkat pula jumlah aluminium yang tidak terpakai

lagi sehingga muncul masalah baru yaitu penumpukan limbah. Maka dari itu diperlukan upaya untuk mendaur ulang limbah aluminium tersebut supaya dapat dimanfaatkan kembali baik menjadi produk baru.

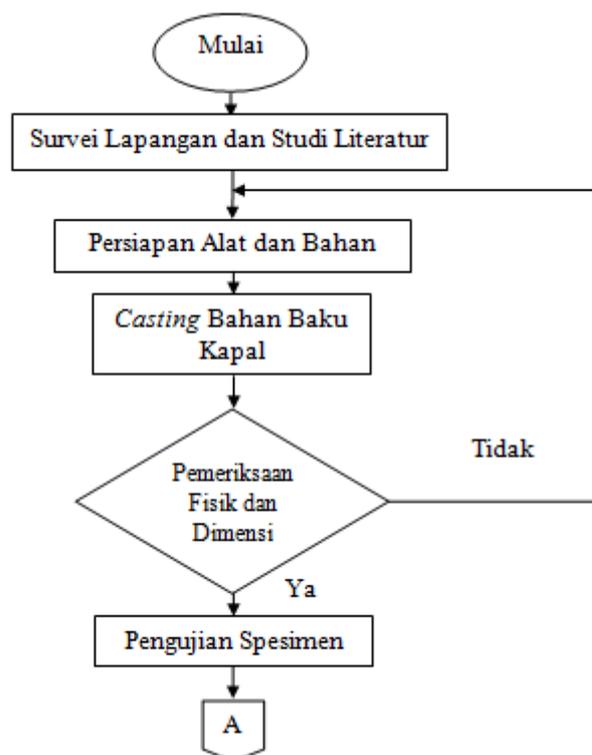
Pada perusahaan industri kecil pengecoran logam kebanyakan tidak menggunakan bahan aluminium murni, namun memanfaatkan *scrap* maupun *reject* material dari bahan pengecoran yang sebelumnya. Sehingga hal ini mempengaruhi hasil dan kualitas dari barang yang dihasilkan. Oleh karena itu, kekuatan dan komposisi paduan aluminium harus diuji dengan baik. Dalam pembuatan komponen komponen kapal harus memiliki spesifikasi teknis dari pengguna. Beberapa komponen kapal yang ditentukan oleh pengguna, disamping sesuai spesifikasi teknis harus juga memenuhi standarisasi. Standarisasi yang dilakukan wajib dipenuhi demi tercapainya keselamatan dan kenyamanan baik untuk penumpang maupun kapal itu sendiri.

Kota Tegal merupakan salah satu sentra industri perusahaan pengecoran logam dengan menggunakan cetakan pasir. Selama ini, semacam keyakinan ada dalam industri UMKM pembuatan jendela kapal di Tegal bahwa kualitas standar untuk membuat sebuah jendela kapal dari aluminium *scrap* dapat dicapai hanya dengan *scrap* dari gabungan velg dan blok mesin saja. Keyakinan ini sudah meluas tanpa adanya pengujian terhadap komposisi dan sifat-sifat mekaniknya terlebih dahulu. Sehingga diperlukan adanya pengujian terhadap spesifikasi teknis dan standar kualitas untuk komponen kapal yang dibuat oleh industri UMKM ini.

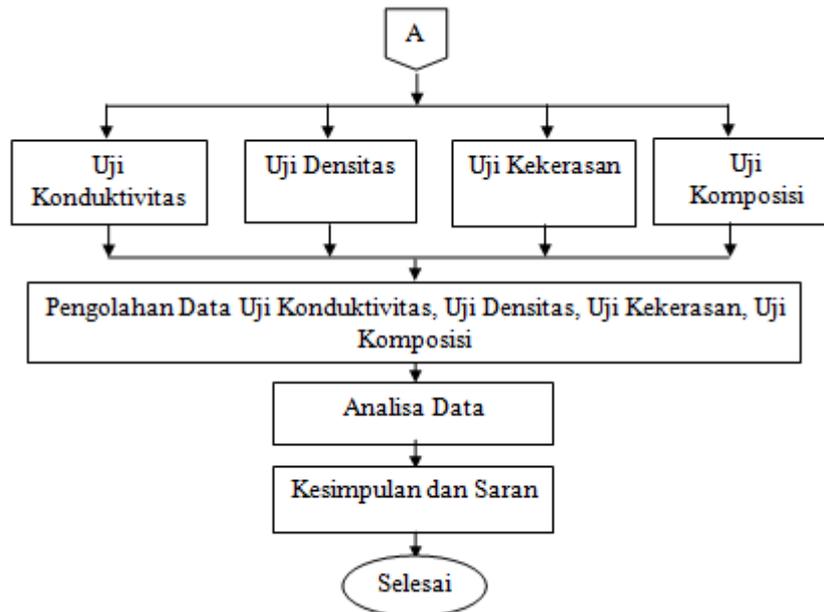
Penelitian ini bertujuan untuk meneliti sifat mekanik dan sifat fisik paduan aluminium jendela kapal hasil produk UMKM berbahan baku limbah aluminium terhadap standar kualitas perusahaan kapal internasional untuk komponen kapal.

2. Metodologi Penelitian

Penelitian dimulai dengan menyiapkan alat dan bahan yang sudah disediakan. Setelah itu melakukan penimbangan untuk mengetahui berat aluminium sebelum dilakukan pengecoran. Setelah penimbangan, dilakukan proses pengecoran, kemudian logam cair hasil pengecoran dituang ke cetakan pasir. Proses pendinginan dilakukan selama 30 menit baru setelah itu cetakan dibongkar, kemudian dilakukan pemeriksaan, apabila tidak terdapat cacat fisik dan dimensinya, maka dilanjutkan dengan melakukan pengujian berupa uji konduktivitas, uji densitas, perhitungan porositas, pengujian kekerasan, perhitungan UTS, dan pengujian komposisi bahan. Setelah didapatkan data pengujian dilakukan analisa data. Terakhir dari hasil pengolahan data dan analisa kemudian menarik kesimpulan dan saran untuk lanjutan dari penelitian ini. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian.



Gambar 1. Diagram alir penelitian (lanjutan).

2.1 Aluminium

Aluminium merupakan logam ringan yang mempunyai ketahanan korosi yang baik dan hantaran listrik yang baik dan sifat – sifat yang baik lainnya sebagai sifat logam. Sebagai tambahan terhadap, kekuatan mekaniknya yang sangat meningkat dengan penambahan Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Ni, dsb, secara satu persatu atau bersama-sama, memberikan juga sifat-sifat baik lainnya seperti ketahanan korosi, ketahanan aus, koefisien pemuaian rendah dsb. Material ini dipergunakan di dalam bidang yang luas bukan saja untuk peralatan rumah tangga tapi juga dipakai untuk keperluan material pesawat terbang, mobil, kapal laut, konstruksi dsb [2].

Aluminium yang digunakan pada penelitian ini adalah aluminium yang digunakan untuk pembuatan jendela kapal yang didapat dari salah satu UMKM pembuatan jendela kapal di Tegal dimana produk yang dibuat berbahan baku dari aluminium campuran limbah velg dengan blok mesin. Untuk jendela kapal produk UMKM di Tegal ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Jendela kapal produk UMKM.

2.2 Sand Casting

Keuntungan dari proses *sand casting* adalah biaya produksinya yang murah dan dapat mencetak logam dengan titik lebur yang tinggi, seperti baja, nikel, dan titanium. Untuk jenis pasir yang digunakan menggunakan pasir Silica (SiO_2) atau bisa juga dicampur dengan mineral lain seperti tanah lempung atau resin organik. Metode pembuatan dengan *sand casting* ini merupakan metode yang paling sederhana, relatif lebih murah dan tidak memerlukan peralatan tambahan. Namun proses *sand casting* ini kadangkala mengalami kendala yaitu uap lembab dalam pasir dapat menyebabkan kerusakan pada beberapa coran, tergantung pada logam dan geometri coran [3].

2.3 Proses Pembuatan Spesimen dengan Variasi Kombinasi Campuran Limbah Aluminium

Pembuatan spesimen dengan menggunakan *sand casting* terdiri dari 5 langkah, yaitu :

a. Proses Penimbangan

Sebelum dicor aluminium jendela kapal dipotong, kemudian ditimbang sesuai kebutuhan pengecoran. Pemotongan ini dilakukan untuk mengetahui berat aluminium sebelum dilakukan pengecoran.

b. Pembuatan Pola

Pada penelitian ini sebelum peleburan spesimen pengujian dilakukan, diperlukan pembuatan pola sebagai model benda cor yang digunakan untuk pembuatan cetakan. Bahan pola yang digunakan adalah dari logam aluminium yang dicor kemudian dibentuk menggunakan mesin bubut seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Proses pembuatan pola.

c. Proses Pembuatan Cetakan Pasir

Pola yang telah jadi digunakan untuk pembuatan cetakan pasir seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Proses pembuatan cetakan pasir dengan cara sebagai berikut:

- 1) Persiapan pasir cetak,
- 2) Permukaan pasir cetak diratakan dengan papan,
- 3) Pola ditaruh diatas pasir cetak yang sudah diratakan dan ditekan kedalam pasir sampai tertanam setengah,
- 4) Pasang pembatas kotak atau sekat lalu ditaburkan serbuk garam agar cetakan bawah dan atas tidak menempel atau menyatu,
- 5) Diberi saluran masuk untuk jalur penuangan dan kemudian taburkan pasir diatas pola,
- 6) Pemadatan pasir cetak diatas pola, dan
- 7) Pelepasan pola dari pasir cetak dan kemudian penyatuan cetakan lagi antara cetakan atas dan bawah.



Gambar 4. Proses pembuatan cetakan pasir.

d. Proses Peleburan

Bahan aluminium yang telah ditimbang kemudian dilebur sesuai dengan kebutuhan pengecoran, aluminium dimasukkan dalam dapur pembakaran langsung (tungku yang terbuka). Pada saat keadaan semisolid lelehan aluminium diaduk secara manual. Pengadukan manual bertujuan untuk membantu pencampuran karena lelehan aluminium masih berbentuk semipadat seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Proses peleburan dan pengadukan pada dapur pembakaran.

e. Proses Penuangan dan Pembongkaran Cetakan

Setelah keseluruhan bahan aluminium sudah mencair maka cairan logam tersebut diambil dengan menggunakan ladle. Cairan aluminium tersebut kemudian dituangkan kedalam cetakan pasir yang sudah disiapkan

seperti ditunjukkan pada gambar 5. Setelah dituang di dalam cetakan tunggu sampai 30 menit baru setelah itu cetakan di buka, biarkan hasil coran dingin secara sendirinya di tunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Proses penuangan dan spesimen hasil pengecoran.

3 Pengujian Sifat Fisik dan Sifat Mekanik

3.1 Pengujian Konduktivitas Listrik

Uji konduktivitas listrik dilakukan dengan menggunakan alat ohm meter kemudian nilai hambatan yang didapat dimasukkan kepersamaan tahanan listrik untuk mendapatkan nilai konduktivitas listriknya, adapun persamaannya adalah sebagai berikut:

Nilai *resistivity* (tahanan listrik)

$$\rho = R \frac{A}{l} \quad (1)$$

Nilai konduktivitas listrik

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (2)$$

Konduktivitas listrik (%IACS)

$$\% IACS = \frac{\sigma}{5.8 \times 10^7} \times 100\% \quad (3)$$

keterangan :

- ρ : tahanan listrik (Ωm)
- R : hambatan listrik (ohm, Ω)
- A : luas alas spesimen (m^2)
- L : panjang material (m)
- σ : konduktivitas listrik (S/m)
- %IACS : *international annealed copper standard* (%)

3.2 Pengujian Densitas

Pengujian densitas dilakukan berdasarkan hukum Archimedes dengan cara menimbang sampel uji di udara dan didalam air. Untuk menghitung nilai densitas aktual dan densitas teoritis menggunakan persamaan sebagai berikut :

Densitas aktual

$$\rho_m = \frac{m_s}{(m_s - m_g)} \times \rho_{H_2O} \quad (4)$$

Densitas teoritis

$$\rho_{th} = \rho_{Al} \cdot V_{Al} + \rho_{Si} \cdot V_{Si} \quad (5)$$

keterangan :

- ρ_m : densitas aktual ($gram/cm^3$)
- m_s : massa sampel kering (gram)
- m_g : massa sampel yang digantung di dalam air (gram)
- ρ_{H_2O} : massa jenis air : 1 $gram/cm^3$
- ρ_{th} : densitas teoritis ($gram/cm^3$)
- ρ_{Al} : densitas Al ($gram/cm^3$)

ρ_{Si} : densitas limbah *geothermal* (gram/cm³)
 V_{Al} : fraksi massa Al (gram)
 V_{Si} : fraksi massa limbah *geothermal* (gram)

3.3 Pengujian Porositas

Pengujian porositas untuk mengetahui berapa besar persentase pori atau rongga didalam sampel uji.

$$P = \frac{D \text{ teoritis} - D \text{ aktual}}{D \text{ teoritis}} \times 100\% \quad (6)$$

keterangan :

P : porositas (%)
D teoritis : densitas teoritis (gr/cm³)
D aktual : densitas aktual (gr/cm³)

3.4 Pengujian Kekerasan Rockwell

Metode pengujian kekerasan yang digunakan adalah metode Rockwell. Metode Rockwell termasuk salah satu metode pengukuran kekerasan berdasarkan lekukan. Kekerasan sampel uji dapat diukur pada 3 titik dengan penetrator berbentuk bola diameter 1/16" dan beban pengujian 100 kg.

3.5 Perhitungan UTS

Konversi nilai *Hardness* ke *Ultimate Tensile Strength* dapat dilakukan berdasarkan rumus persamaan hubungan antara kekerasan dan UTS berikut [4]:

$$y = 2.8515x + 59.187 \quad (7)$$

keterangan:

y : *ultimate tensile strength (approximately)*
x : *hardness vickers (HV)*

Dari rumus diatas diperlukan melakukan konversi terlebih dahulu nilai kekerasan yang tidak dalam satuan Vickers ke dalam bentuk satuan Vickers (HV). Konversi antar satuan kekerasan dapat dilihat di ASTM E140.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Sifat Fisik dan Sifat Mekanik

a. Pengujian Konduktivitas Listrik

Hasil pengujian konduktivitas yang didapat kemudian dibandingkan dengan data teoritisnya yang terdapat pada *ASM Handbook Vol. 2* sehingga didapat perkiraan jenisnya ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perkiraan Jenis Aluminium Pertama Berdasarkan Konduktivitas Listrik

No.	Pengujian Pengecoran	Konduktivitas (%IACS)	Perkiraan Jenis Aluminium Pertama
1.	Bahan Jendela Kapal	41	222.0, 356.0, dan 443.0

b. Pengujian Kekerasan dan Perhitungan UTS

Dari Tabel 2 menunjukkan bahwa nilai kekerasan untuk bahan jendela kapal yang didapat sebesar 48.8 HRB. Kemudian dikonversikan kesatuan Vickers dengan menggunakan tabel konversi kekerasan pada ASTM E140 maka didapat kekerasannya 91 HV. Sehingga didapat juga hasil perhitungan nilai UTS nya sebesar 318,67 MPa.

Tabel 2. Hasil Kekerasan dengan Perhitungan UTS dan Perkiraan Jenis Aluminium Kedua

No.	Spesimen Pengujian	Kekerasan Aktual 100kg (HRB)	Kekerasan Aktual* (HV)	Ultimate Tensile Strength Aktual (MPa)	Perkiraan Jenis Aluminium Kedua
1.	Bahan Jendela Kapal	48.8	91	318.67	356.0

*Berdasarkan tabel konversi kekerasan ASTM E140 (*Hardness Conversions*)

Berdasarkan tabel 2 diatas, nilai kekerasan dan nilai UTS dari hasil pengujian tersebut dibandingkan dengan data teoritis yang terdapat pada *ASM Handbook Vol. 2* untuk masing-masing tiap perkiraan jenis aluminium pertama,

karena tiap jenis aluminium memiliki standar nilai kekerasan dan UTS yang berbeda-beda. Perbandingan data ini bertujuan untuk menentukan jenis aluminium yang paling mendekati. Dari tabel 2 untuk spesimen bahan jendela kapal jenis aluminium yang paling mendekati adalah 356.0.

c. Pengujian Komposisi Bahan

Berdasarkan uji komposisi bahan yang dilakukan paduan aluminium jendela kapal menunjukkan bahwa kandungan kadar dari komposisi bahan terdiri dari 86,71% Al serta 7,24% Cu sehingga paduan tersebut didominasi oleh paduan antara unsur aluminium dan tembaga maka aluminium cor ini merupakan paduan Al-Cu. Untuk jenis aluminium yang digunakan adalah jenis aluminium yang didapat dari pengujian komposisi yaitu paduan 213.0. Untuk spesimen yang di uji dan komposisi bahannya ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Komposisi Bahan

No.	Spesimen	Composition, wt%									Jenis Aluminium
		Si	Fe	Cu	Mn	Ni	Zn	Pb	Sn	Al	
1.	Bahan Jendela Kapal	...	0.18	7.24	1.03	0.32	4.39	0.13	0.01	86.71	213.0

Pada Tabel 3 jenis aluminium yang didapat saat uji komposisi tidak sesuai dengan jenis aluminium pada uji konduktivitas, hal ini diduga dikarenakan alat pada uji konduktivitas yang sangat sensitif sehingga diperlukan mengambil sampel sebanyak-banyaknya agar akurat. Kesalahan dengan penentuan jenis aluminium yang paling mendekati pada uji konduktivitas juga dapat menjadi faktor kesalahan, hal ini dikarenakan adanya cacat-cacat seperti porositas atau *slag inclusion* sehingga mempengaruhi nilai fisik dan mekaniknya dan menyebabkan kesalahan saat perbandingan kekerasan dan UTS nya untuk mendapatkan jenis yang mendekati.

d. Pengujian Densitas dan Perhitungan Porositas

Berdasarkan pengujian densitas didapat berat sampel kering rata-rata sebesar 6,99 gram dan berat sampel digantung dalam air rata-rata sebesar 2,64 gram sehingga didapat nilai densitasnya sebesar 2,64 gram/cm³. Dari densitas ini maka dihitung nilai porositasnya dan didapat untuk porositas sampel sebesar 9,89%. Tingginya tingkat porositas ini diduga dikarenakan pemakaian dapur yang tanpa pembersihan menyebabkan terdapatnya sisa-sisa cairan maupun kotoran lainnya sebelum proses dimulai. Sisa cairan yang umumnya berupa oksida akan mengakibatkan terbentuknya inklusi-inklusi keras didalam produk serta menjadi tempat gas-gas menempel atau terjebak.

4.2 Analisa Karakterisasi Sifat Fisik dan Mekanik Terhadap Standar Internasional

Pada Tabel 4 ditunjukkan sifat fisik dan mekanik yang didapat dari semua pengujian yang dilakukan. Untuk nilai kekerasan Brinell didapat dengan mengkonversikan menggunakan tabel konversi kekerasan pada ASTM E140 dan didapat nilai kekerasannya sebesar 81 HB.

Tabel 4. Karakterisasi Material Aluminium Jendela Kapal

No.	Spesimen	Jenis Aluminium	Kekerasan Rockwell (HRB)	Kekerasan Brinell* 500kgf (HB)	Ultimate Tensile Strength (MPa)
1.	Bahan Jendela Kapal	213.0	48,8	81	318.67

*Berdasarkan tabel konversi kekerasan ASTM E140 (*Hardness Conversions*)

Berdasarkan hasil pengujian komposisi bahan, jenis aluminium yang didapat aluminium jendela kapal yang digunakan UMKM di tegal memenuhi standar dengan aluminium yang digunakan oleh perusahaan perkapalan internasional yang ditunjukkan pada Tabel 5. Pada standar internasional aluminium yang digunakan untuk komponen perkapalan juga menggunakan jenis aluminium paduan Al-Cu atau paduan A214 F ditunjukkan pada Tabel 5. Untuk nilai kekerasan Brinell pada jendela kapal produk UMKM di Tegal juga memiliki nilai kekerasan yang lebih baik dari nilai kekerasan yang terdapat pada standar internasional. Hal ini membuktikan jendela kapal produk UMKM di Tegal ini sudah sesuai standar internasional.

Tabel 5. Typical Mechanical Properties of Sand Casting Alloys for Ship Component[5]

Alloy and Temper	Tensile Strength (psi)	Tensile Yield Strength (offset=0.2%) (psi)	Elongation percent in 2 inches	Compressive Yield Strength (offset=0.2%) (psi)	Brinell Hardness (500 kg load)
------------------	------------------------	--	--------------------------------	--	--------------------------------

		(psi)		(psi)	10 mm ball
356	52,000	43,000	5,0	-	-
43 F	23,000	9,000	10,9	9,000	45
A214 F	27,000	16,000	7,0	17,000	60
356-T6	38,000	27,000	5,0	27,000	85
355-T6	42,000	27,000	4,0	27,000	90
Almag 35	42,000	23,000	10,0	-	75

5. Kesimpulan

Bahan jendela kapal produk UMKM di Tegal yang digunakan didapat untuk jenis aluminiumnya yaitu paduan Al-Cu atau paduan 213.0, dengan nilai kekerasan dan UTS sebesar 48,8 HRB dan 318,67 MPa. Berdasarkan data tersebut menunjukkan bahwa jendela kapal produk UMKM di Tegal menghasilkan hasil yang bagus karena hasil tersebut menunjukkan bahwa paduan tersebut masuk kedalam standar internasional. Produk jendela kapal ini pun menghasilkan nilai kekerasan yang lebih baik dari nilai kekerasan yang terdapat pada standar internasional hal ini memperlihatkan bahwa produk jendela kapal ini cukup baik dan dapat direkomendasikan untuk pembuatan komponen kapal. Dari penelitian ini pun diharapkan adanya penelitian lanjutan untuk variasi campuran bahan baku alternatif limbah yang lain yang dapat menggantikan bahan baku yang digunakan untuk pembuatan jendela kapal saat ini.

6. Daftar Pustaka

- [1] ASM Team, (1998), "*ASM Metal Handbook Volume 15 Fractography*," United States of America, American Society for Metal.
- [2] Surdia T., Shinroku S., (1995), "*Pengetahuan Bahan Teknik*," Jakarta, Pradnya Paramita.
- [3] Groover M.P., (2007), "*Fundamentals of Modern Manufacturing*," Wiley India, Pvt. Limited.
- [4] Tan C.F., Said M.R., (2009), "*Effect of Hardness Test on Precipitation Hardening Aluminium Alloy*," Melaka, Universiti Teknikal Malaysia.
- [5] Origin and Development of ABYC, (2001), "*Aluminum Applications for Boats and Yachts*," Washington DC American Boat & Yacht Council, Inc.