



Analisis Sifat Mekanik Pada Material Standar Paduan COR $AlSi_{10}Mg(b)$ Dari Skrap Aluminium

Titiek Deasy Saptaryani^{1*}, Yuli Nurasri², Budi Santoso³, Mulianti⁴

^{1,2,3}Program Studi Teknik Mesin, Politeknik Purbaya

⁴Jurusan Teknik Mesin, Universitas Negeri Padang

*titiekdspurbaya@gmail.com

Abstract

The metal industry in Tegal Regency is classified into ferrous and non-ferrous metal industries. The shipping component industry is the leading producer of the non-ferrous metal industry. The problem faced by the non-ferrous metal processing industry, especially the Small and Medium Industry ship components is the availability of standard materials as raw materials at affordable prices. Instead, SMEs use scrap material to reduce selling prices, as a result of which product quality does not meet the required specifications. This research made 2 (two) formulas of $AlSi_{10}Mg_{(b)}$ from an aluminum scrap mixture where $AlSi_{10}Mg_{(b)}$ is one of the standard materials of cast aluminum alloy recognized by Biro Klasifikasi Indonesia (BKI). The study aimed to recommend raw material formulas to SMEs to ship components to make products according to BKI standards. The research began by collecting a database of aluminum scrap composition, then simulating calculations with an Excel program to obtain theoretical chemical composition so that the need for aluminum scrap was produced. The two standard material formulas of $AlSi_{10}Mg_{(b)}$ are made from different main scrap where formula 1 is the piston, and formula 2 is the brake lining with the supporting scrap is the pan, aluminum elbow, and aluminum plate as well as the $AlSi_{49}$ and $AlMg_{20}$ master alloys. The simulation results are then cast with the sand-casting method. The cast results are made of specimens testing chemical composition and hardness. The results of the chemical composition test show that both formulas are in accordance with the conditions of $AlSi_{10}Mg_{(b)}$ cast alloy, namely the percentage of Silicon (Si) and Magnesium (Mg) in formula 1 is 9.16% and 0.39% while formula 2 is 10.69% and 0.22%. Both formulas are still with Copper (Cu) content that still exceeds the limit of above 0.1%. The hardness value has met BKI standards above 50HBN.

Keywords: ship component, aluminum scrap, $AlSi_{10}Mg_{(b)}$, BKI, sand casting

Abstrak

Industri logam di Kabupaten Tegal digolongkan ke dalam industri logam fero dan non fero. Industri komponen perkapalan menjadi produk unggulan industri logam non fero. Permasalahan yang dihadapi industri pengolahan logam non fero, khususnya Industri Kecil Menengah (IKM) komponen kapal adalah ketersediaan material standar sebagai *raw material* dengan harga terjangkau. Sebagai gantinya, para IKM menggunakan material skrap untuk menekan harga jual, akibatnya kualitas produk kurang memenuhi spesifikasi yang dipersyaratkan. Penelitian ini membuat 2 (dua) formula $AlSi_{10}Mg_{(b)}$ dari campuran skrap aluminium dimana $AlSi_{10}Mg_{(b)}$ merupakan salah satu material standar aluminium paduan cor yang diakui oleh Biro Klasifikasi Indonesia (BKI). Tujuan penelitian memberi rekomendasi formula *raw material* kepada IKM komponen kapal untuk membuat produk sesuai standar BKI. Penelitian dimulai dengan mengumpulkan data komposisi kimia skrap aluminium, selanjutnya simulasi perhitungan dengan program excel untuk mendapatkan komposisi kimia teoritis sehingga dihasilkan kebutuhan skrap aluminium. Kedua formula material standar $AlSi_{10}Mg_{(b)}$ dibuat dari skrap utama berbeda dimana formula 1 adalah piston, dan formula 2 adalah kampas rem dengan skrap pendukungnya adalah panci, aluminium siku dan aluminium plat serta *master alloy* $AlSi_{49}$ dan $AlMg_{20}$. Hasil simulasi kemudian dicor dengan metoda pengecoran *sand casting*. Hasil cor dibuat spesimen uji komposisi kimia dan kekerasan. Hasil uji komposisi kimia menunjukkan kedua formula sesuai dengan syarat paduan cor $AlSi_{10}Mg_{(b)}$ yaitu prosentase Silikon (Si) dan Magnesium (Mg) pada formula 1 adalah 9,16% dan 0,39% sedangkan formula 2 adalah 10,69% dan 0,22%. Kedua formula masih dengan kadar Tembaga (Cu) yang masih melebihi batas yaitu di atas 0,1%. Nilai kekerasan sudah memenuhi standar BKI di atas 50HBN.

Kata kunci: komponen kapal, skrap aluminium, $AlSi_{10}Mg_{(b)}$, BKI, *sand casting*

1. Pendahuluan

Industri logam di Kabupaten Tegal digolongkan ke dalam industri logam fero dan non fero. Produk yang telah dikenal oleh masyarakat umum adalah alat-alat pertanian, pompa air, kerajinan logam, alat-alat rumah tangga, komponen kapal, komponen otomotif dan komponen alat-alat berat. Industri komponen perkapalan menjadi produk unggulan industri logam yang merupakan kompetensi inti industri di Kabupaten Tegal [1].

Industri Kecil Menengah (IKM) komponen kapal di Kabupaten Tegal, Jawa Tengah, berjumlah 29 perusahaan, telah memanfaatkan skrap paduan aluminium melalui proses *sand casting* sebagai bahan pengganti ingot yang bertujuan menekan harga jual produk. Produk yang dihasilkan masih belum memenuhi spesifikasi yang dipersyaratkan terutama pada komposisi kimia, sifat mekanik dan porositasnya. Banyak hal yang mempengaruhi hal tersebut terutama keterbatasan para pelaku industri tentang bagaimana membuat material skrap menjadi material standar dan mahalnya biaya uji material [1,2,3].

Material untuk membuat komponen kapalselain baja, salah satunya adalah material paduan aluminium. Paduan aluminium yang dipakai umumnya terdiri dari 2 (dua) jenis yaitu wrought aluminium alloy, yaitu paduan aluminium yang dibuat dengan cara di tempa, dan casting aluminium alloy, yaitu paduan aluminium yang dibuat dengan cara di cor [4].

Pengecoran aluminium memiliki peranan penting di dalam perkembangan industri aluminium sejak ditemukannya pada akhir abad XIX. Produk komersial aluminium hasil cor yang pertama adalah peralatan rumah tangga dan komponen-komponen dekorasi. Pemakaian aluminium saat ini sudah diarahkan untuk memenuhi kebutuhan spesifikasi dibidang keteknikan. Aluminium dapat dicor, dirol dan diekstrusi ke dalam bentuk yang paling kompleks [1,5].

Kelebihan proses pengecoran adalah dapat membuat produk dengan geometri yang kompleks (ketebalan minimum, ukuran inti minimum, dsb), dapat membuat bentuk baik eksternal maupun internal dengan kualitas yang diinginkan (permukaan akhir, porositas, dll), dapat melalui beberapa teknik untuk membuat produk *net shape* atau *near shape*, dapat membuat produk dengan ukuran yang sangat besar serta cocok untuk produk massal (merupakan parameter ekonomis) [1,6].

Aluminium sendiri dapat di daur ulang (*recycle*) tanpa batas dan tanpa kehilangan karakteristik superior nya serta merupakan pertimbangan utama untuk pemanfaatan aluminium selanjutnya, mewakili salah satu atribut kunci dari keberadaan logam [1,2,3,7]. Daurl ulang (*Recycling*) mempunyai nilai penting secara ekonomi, energi, lingkungan dan

sebagai implikasi penghematan sumber daya serta biaya produksi yang rendah [1,2,3,8]. Selain itu, keuntungan ekonomi yang signifikan dari daur ulang aluminium telah dibuktikan yang hasilnya setiap kenaikan 1% jumlah kaleng aluminium yang didaur ulang, penghematan ekonomi untuk ekonomi AS adalah \$12 Juta/tahun [1,2,3,9]. Aluminium yang di daur ulang menghemat 95% energi yang diperlukan untuk menghasilkan aluminium dari bahan baku alam. Faktanya untuk memproduksi 1 (satu) pound aluminium dibutuhkan 4 (empat) pound bijih bauxite. Jadi setiap pound daur ulang menghemat 4 (empat) pound bijih bauxite. Peningkatan penggunaan daur ulang logam memiliki efek penting terhadap emisi CO₂, dimana daur ulang aluminium hanya menghasilkan 4% CO₂ dibanding dengan produksi dari sumber daya alam [1,2,3,10].

Aluminium merupakan unsur ketiga paling banyak digunakan setelah baja, yaitu 8% Senyawa aluminium terdapat di kulit bumi, dengan perhitungan secara global sebesar 24 (dua puluh empat) juta ton/tahun dan lebih dari 7 (tujuh) juta ton/tahun di produksi dari daur ulang aluminium [1,2,3,9]. Aluminium murni bersifat lembut (*soft*), lemah (*weak*), merupakan logam ringan (beratnya kurang dari sepertiga berat baja, tembaga atau kuningan) tetapi dapat menjadi kuat, lunak (*ductile*), dan dapat dibentuk (*malleable*), tahan korosi dan sangat bagus sebagai konduktor panas dan listrik [1,2,3,7]. Tetapi sisi negatif penggunaan aluminium yaitu: kekuatan rendah pada temperatur tinggi, *fusing point* rendah, kekerasan rendah, resistan terhadap keausan dan abrasi rendah, kekuatan fatik dan kekuatan mulur rendah [1,3,10]. Selain itu, aluminium mempunyai suhu leleh (*melting temperature*) rendah dan memiliki kekuatan tarik yang rendah yaitu kekuatan-tarik 90-140 N/mm². Tetapi dapat dipadu dengan banyak elemen, seperti tembaga, seng, magnesium, mangan, litium dan silikon, untuk memproduksi cakupan yang luas dengan sifat yang spesifik untuk tujuan yang berbeda [1,2,3,7].

Tujuan utama penggunaan paduan aluminium adalah dalam aplikasi material ringan seperti di industri *aerospace* dan *automobil*. Penggunaannya pada pembuatan piston mobil, kemudi dan *cylinder heads*. Trendnya adalah sebagai bahan baku pada manufaktur *engine block* yang menggantikan *cast iron*. Kedua, aluminium tahan terhadap korosi karena mempunyai suatu lapisan oksida yang kuat dimana bersifat melindungi dan mencegah korosi dari material dasar (*base material*) [1,2,3,11]. Kebanyakan aluminium dalam bentuk paduan dan dengan penggunaan tipe paduan aluminium yang berbeda dapat diproduksi dengan cakupan karakteristik yang luas, contohnya, kekuatan tarik, kekerasan dan *plastic malleability* [1,2,8]. Paduan yang paling banyak adalah silikon (Si), magnesium (Mg), mangan (Mn), tembaga (Cu) and seng (Zn). Paduan yang berisi maksimal 1% besi dan silikon

dalam total paduan disebut aluminium murni (unalloyed aluminium [1, 6]). Salah satu paduan aluminium cor yang digunakan untuk produk komponen kapal sesuai aturan Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) adalah AlSi₁₀Mg(b) seperti terlihat pada Tabel 1 [1,2,3,4].

Tabel 1. Paduan aluminium cor standar BKI [1,2,3,4]

Designation of alloy	Cast procedure	Material condition	Sea water suitability
EN AC-41000 (AlSi ₂ MgTi)	S, K	F, TG	Good
EN AC-42100 (AlSi ₇ Mg _{0,3})	S, K, L	TG, TG4	Good
EN AC-42200 (AlSi ₇ Mg _{0,6})	S, K, L	TG, TG4	Good
EN AC-43100 (AlSi ₁₀ Mg(b))	S, K, L	F, TG, TG4	Good / moderate
AN AC-44100 (AlSi ₁₀ Mg(b))	S, K, L, D	F	Good / moderate
EN AC-51000 (AlMg ₃ (b))	S, K, L	F	Very good
EN AC-51300 (AlMg ₃)	S, K, L	F	Very good
EN AC-51400 (AlMg ₃ (Si))	S, K, L	F	Very good

- S = sand casting
- K = permanent mould casting
- L = investment casting
- D = pressure die casting
- F = cast condition
- TG = solution annealed and completely artificially aged
- TG4 = solution annealed and not completely artificially aged-under aged (only for permanent mould casting)

Paduan aluminium AlSi₁₀Mg(b) merupakan bahan komponen atau bangunan kapal sesuai standar BKI dari jenis casting aluminium alloy berdasarkan European Nation (EN) Aluminum Casting (AC)-43100, sehingga biasa ditulis dengan EN AC-43100 (AlSi₁₀Mg(b)). Dalam ketentuan BKI yang terlihat pada tabel 1 menyatakan bahwa paduan EN AC-44100 (AlSi₁₀Mg(b)) termasuk dalam paduan aluminium silikon magnesium yang *heatratable* dan dapat diproses melalui *sand casting*, *permanent mould casting*, *investment casting* dan *pressure die casting* [4]. Paduan yang termasuk AlSi- dan AlSiMg-alloy tidak disarankan untuk pembuatan produk yang langsung kontak dengan air laut, kecuali dengan penambahan *coating* dan kandungan Cu pada komposisi bahan maksimal 0,1 % - 0,15% [1,2,3,4].

Aluminium pada keadaan padat hanya mampu melarutkan sedikit saja silikon, dimana kelarutan silikon didalam kristal campuran α (alfa) akan menurun drastis bersama dengan penurunan temperatur. Unsur silikon dengan nomor atom 14 dan berat atom 28,0855 mempunyai titik lebur (*melting point*) sebesar 1414°C [1,2,3,12]. Kelarutan silikon di dalam aluminium adalah sebagai berikut: 1,65% (577 °C), 0,8% (500 °C), 0,3% (400 °C), 0,1% (300 °C) dan 0,05% (250 °C) [1,2,3,13]. Silikon ditambahkan dengan tujuan untuk meningkatkan mampu cor (*castability*) serta memperbaiki sifat mekanis dari aluminium murni. Penambahan unsur silikon sampai dengan 20%. Jadi semakin tinggi kandungan silikon

akan meningkatkan mampu alir pada paduan logam cair. Disamping itu, penambahan unsur silikon juga dapat memperbaiki sifat fluiditas dan *feeding characteristic* dari paduan. Tetapi kandungan silikon lebih dari 20% akan membentuk partikel inklusi didalam paduan [1,2,3,14].

Sifat mekanik suatu paduan dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti: komposisi kimia, perlakuan panas (*heat treatment*), proses pengecoran dan proses pengerjaan. Jadi dengan merubah komposisi kimia sampai batas tertentu, maka sifat mekanik akan berubah sesuai dengan yang diinginkan [1,2,3,15]. Komposisi kimia AlSi₁₀Mg(b) standar BKI megacu standar DIN EN 1706 [16] seperti terlihat pada tabel 2 dan sifat mekanik seperti terlihat pada Tabel 3.

Tabel 2. Komposisi Kimia AlSi₁₀Mg(b) [16]

Alloy group	Si	Mg	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn	Ti	Pb	Sn	Ti
AlSi ₁₀ Mg(b)	9,0-11,0	0,20-0,45	0,1 (0,08)	0,55 (0,45)	0,45	0,05	0,10	0,15	0,05	0,05	0

Tabel 3. Sifat mekanik paduan AlSi₁₀Mg(b) [16]

Alloy group	Chemical Symbols	Temper Designation	Tensile Strenght	Proof stress Mpa min	Elongation	Brinell hardness HBS min
AlSi ₁₀ Mg	AlSi ₁₀ Mg (b)	F	150	80	2	50
		T6	220	180	1	75

Data komposisi kimia skrap sebagian telah diteliti oleh R. Widodo, Jarot Raharjo, dsb [13,17,18] terlihat pada tabel 4. Sedangkan penambahan komposisi kimia *master alloy* yang merupakan bahan tambahan terlihat pada tabel 5.

Tabel 4. Komposisi kimia skrap aluminium [11][15,16,17]

Bahan	Cu	Mg	Si	Fe	Mn	Ni	Zn	Ti	Pb	Sn	Cr
Piston	1,46	0,71	12,35	0,25	0,46	0,06	0,08	0,07	0,06	0,01	0,04
Kampas rem	2,245	0,1226	10,66	1,116	0,159	0,057	0,826	0,025	0,061	0,024	0,026
Panci	0,17	0,08	0,22	0,5	0,09	0,00	0,005	0,02	0,01	0,00	0,00
Aluminium siku	0,028	0,017	0,09	0,198	0,012	0,002	0,035	0,016	0,00	0,005	0,005
Aluminium plat	0,06	0,636	0,38	0,425	0,041	0,008	0,085	0,014	0,006	0,007	0,011

Tabel 5. Komposisi kimia *master alloy*

Master Alloy	Si	Mg	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn	Ti	Pb	Sn	Cr
AlSi ₄₉	49,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AlMg ₂₀	0	0,191	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Di Indonesia, proses daur ulang skrap telah lama dilakukan oleh para pelaku industri logam tetapi produk belum memenuhi kualitas standar tertentu dikarenakan pencampuran skrap tidak menggunakan formulasi peramuan acuan standar. Beberapa penelitian yang relevan tentang pencampuran bahan daur ulang yang terpublikasikan seperti yang terlihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Pemetaan peneliti bahan skrap [1]

Nama Peneliti	Bahan standar yang dibuat	Skrup yang digunakan	Metode cor	Hasil
Jarot Raharjo, 2001 [17]	LM 4 LM 13	Piston, kawat, plat, hanger, roda gigi, casing, blok mesin, baling-baling, panci, Cu kabel dan AlSi49	- cetakan pasir - cetakan logam	komposisi kimia sesuai
Arie Hendarto, dkk 2011 [18]	ADC 10 ADC 12 AC4D	Piston, blok mesin, casing, panci, roda gigi, velgenkei, plat/list/profil,, AlCuingot, AlMg, AlMn AlSi45 dan AltabCu	- cetakan pasir - dapur krusibel	komposisi kimia sesuai
Kiryanto 2012 [19]	JIS H 4000 1970 Seri 5005 atau SNI 07-1352-1989 AC2A	Aluminium siku, dan kampak rem	Cetakan pasir	70 % memenuhi
T. Deasy 2014 2019	Paduan AlSi ₁₂ (b) Standar BKI	Piston, blok mesin, kampak rem, ditambah panci, Al siku, Al plat dan <i>master alloy</i> AlSi ₄₅	Cetakan pasir, dapur IKM	• komposisi kimia sesuai • sifat mekanik sesuai

Pada penelitian kali ini akan membuat 2 (dua) formula material paduan cor AlSi₁₀Mg_(b) dari bahan skrap aluminium yang mengacu pada standar material BKI seperti dalam tabel 1. Metoda pengecoran yang dilakukan mengacu pada standar ASTM: ASTM B 26/B 26M, “*Specification for Aluminum-Alloy Sand Casting*” [6]. Komposisi kimia yang diharapkan sesuai tabel 2 dan sifat mekanik yang diharapkan sesuai standar DIN EN 1706 pada tabel 3 [16].

2. Metode Penelitian

Untuk menghasilkan bahan AlSi₁₀Mg_(b) harus menggunakan dengan kandungan silikon dan magnesium yang cukup tinggi, maka dipilihlah dua material skrap yaitu piston dan kampak rem sebagai material utama ditambah panci, aluminium siku, aluminium plat dan *master alloy* AlSi₄₉ dan AlMg₂₀.

Skrup aluminium yang digunakan sebagai bahan baku pembuatan bahan paduan cor AlSi₁₀Mg_(b) tersebut kemudian di data komposisi kimia masing-masing skrap-nya yang merujuk pada Peneliti sebelumnya [1,2,3].

Proses selanjutnya adalah membuat simulasi dengan metode tabel menggunakan perangkat lunak MS.excel. Dari hasil simulasi didapatkan bahan untuk membuat kedua formula AlSi₁₀Mg_(b) dari masing-masing skrap dengan rincian yang terlihat pada Tabel 7 dan Tabel 8.

Tabel 7. Kebutuhan material skrap untuk formula 1 AlSi₁₀Mg_(b)

No	Jenis Material	Kebutuhan Bahan (Kg)
1	Piston	2
2	Panci	4
3	Aluminium siku	3,8
4	Aluminium plat	6
5	AlMg ₂₀	1
6	AlSi ₄₉	3,2
Jumlah		20

Tabel 8. Kebutuhan material skrap untuk formula 2 AlSi₁₀Mg_(b)

No	Jenis Material	Kebutuhan Bahan (Kg)
1	Kampak rem	1,6
2	Panci	2
3	Aluminium siku	2,4
4	Aluminium plat	6
5	AlMg ₂₀	4
6	AlSi ₄₉	4
Jumlah		20

Alat yang digunakan pada proses cor adalah dapur krusibel dengan tipe dapur terbuka dengan menggunakan bahan bakar solar. Kontruksi dapur terdiri atas krusibel sebagai tempat peleburan logam yang terletak di tengah-tengah dapur sedangkan *burner* dipasang pada tungku sebagai penghubung ke bahan bakar, kowi untuk memasak logam cair diletakkan ditengah-tengah seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Tungku peleburan

Kowi digunakan sebagai tempat untuk melebur dan mencampur coran. Kowi yang digunakan berbahan keramik dengan kapasitas pemasakan 20 Kg seperti terlihat pada Gambar 2. Cetakan jenis cetakan pasir pada Gambar 3.



Gambar 2. kowi 20 Kg

Alat bantu lain adalah timbangan, mesin gerinda, mesin potong, gayung untuk penuangan, serok baja, termokopel dan mesin bubut.



Gambar 3. Cetakan pasir

Sebelum melakukan pengecoran, bahan-bahan hasil simulasi dilakukan proses pembersihan dan pemotongan. kemudian ditimbang sesuai kebutuhannya dengan alat timbang digital seperti terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Proses penimbangan

Proses selanjutnya adalah *casting* yaitu melebur bahan baku skrap paduan aluminium sesuai hasil perhitungan peramuan dan pepaduan pada Tabel 7 dan Tabel 8 untuk kedua formula. Peleburan dilakukan sampai mencapai temperatur $\pm 725^{\circ}\text{C}$. Logam cair hasil peleburan dituangkan ke dalam cetakan yang telah disiapkan.

Proses pengecoran diawali dengan pengisian bahan bakar solar+bensin kemudian dihembuskan udara menggunakan blower untuk pemanasan kowi selama ± 10 menit. Selanjutnya material skrap yang sudah dipotong-potong dimasukkan dalam kowi yang sudah dipanaskan. Mula-mula potongan panci, aluminium siku dan aluminium plat yang dicor terlebih dahulu selama ± 15 menit sampai mencair kemudian diaduk seperti terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Proses pengecoran

Bahan skrap utama (piston dan kampas rem) ditambahkan ke dalam kowi diikuti penambahan AlSi_{19} dan AlMg_{20} master alloy. Ketika material sudah terlihat cair selanjutnya penambahan *covering flux* sambil terus diaduk secara manual selama ± 5

menit sehingga mulai terlihat kotoran-kotoran yang mengapung berbentuk bara kehitaman yang kemudian disingkirkan dari logam cair.



Gambar 6. Proses pengecekan suhu

Pengecekan suhu menunjukkan $\pm 700^{\circ}\text{C}$ maka tidak diperbolehkan untuk melakukan pengadukan agar lapisan oksida pada logam cair tidak rusak. Setelah ± 10 menit maka suhu logam cair menunjukkan kenaikan secara cepat mencapai suhu 759°C seperti terbaca pada termokopel digital pada Gambar 6 dan selanjutnya dilakukan proses penuangan secara manual seperti terlihat pada Gambar 7. Proses selanjutnya adalah pembongkaran cetakan yang sudah diisi logam cair setelah ± 20 menit dari waktu penuangan dengan harapan produk cor sudah padat .



Gambar 7. Proses penuangan

Produk hasil cor dilakukan pengujian komposisi kimia dengan ukuran sampel uji 20 mm dan 20 mm. Peralatan uji menggunakan mesin uji komposisi (spectrometer) Shimadzu OES 5500 II standard ASTM E 1251-04 [20]. Preparasi spesimen setelah dipotong kemudian dipoles dengan mesin poles. Penembakan dilakukan sebanyak 3 kali untuk diambil rata-rata komposisi kimia bahan.

Uji kekerasan Rockwell B (HRB) berpedoman pada standar ASTM E18-11 [20] menggunakan alat uji Kekerasan Rockwell HR-150A dengan ukuran spesimen $20 \times 20 \times 20 \text{ mm}^3$. Preparasi spesimen setelah dipotong kemudian dipoles dengan mesin poles. Pengujian dilakukan dengan 3 kali penekanan indenter.

3. Hasil dan Pembahasan

1). Uji Komposisi kimia

Hasil uji komposisi kimia dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Hasil uji komposisi

Materi	Komposisi kimia										
	Si	Mg	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn	Ti	Pb	Sn	Cr
F 1	9,16	0,39	0,2	0,39	0,08	0	0,04	0	0	0	0
F 2	10,69	0,22	0,22	0,41	0,04	0,01	0,09	0,01	0,01	0	0,01
DIN 1706	9,0-11,0	0,20-0,45	0,1 (0,08)	0,55 (0,45)	0,45	0,05	0,10	0,15	0,05	0,05	0

Data hasil pengujian komposisi kimia pada Tabel 9 menunjukkan bahwa secara umum baik Formula 1 dan Formula 2 termasuk paduan cor $AlSi_{10}Mg_{(b)}$ jika melihat dari kandungan unsur silikon sesuai standar DIN EN 1706 yaitu untuk unsur silikon formula 1 adalah 9,16% dan formula 2 sebesar 10,69%. Silikon (Si) digunakan untuk meningkatkan karakteristik pengecoran dengan memperbaiki fluiditas, ketahanan *hot tearing* dan *feeding*. Jumlah maksimum Si dalam proses pengecoran tergantung pada kebutuhannya, untuk solidifikasi lambat (*sand* dan *investment*) sekitar 5-7% Si, untuk cetakan permanen sekitar 7-9% Si, dan untuk *die casting* sekitar 8-12% [1,6].

Unsur magnesium kedua formula hasil uji komposisi kimia pada tabel 9 sesuai komposisi standar yaitu untuk formula 1 sebesar 0,39% dan formula 2 sebesar 0,22%, dan ini sesuai standar DIN EN 1706. Magnesium (Mg) berkontribusi meningkatkan kekerasan dan kekuatan dalam paduan Al-Si karena fasa larut Mg_2Si yang tergantung temperatur. Fase pengerasan didapatkan dengan penambahan 0,70% Mg. Paduan Al-Si dengan kekuatan tinggi biasanya mempunyai kandungan Mg sebanyak 0,40 – 0,70%. Paduan biner Al-Mg banyak digunakan untuk meningkatkan hasil finishing permukaan, respon yang baik terhadap finishing kimia, ketahanan korosi, dan kombinasi yang baik antara kekuatan dan keuletan [1,6].

Tetapi untuk kedua Formula pada Tabel 9 terlihat adanya ketidaksesuaian pada kandungan tembaga (Cu) yang melebihi dari standar. Biasanya dengan kandungan Cu tinggi memperbaiki kekuatan dan kekerasan dalam paduan *heat treatable* tetapi akan menurunkan ketahanan korosi, *hot tearing*, dan *castability* [1,6]. Cu mempunyai pengaruh negatif terhadap porositas artinya kandungan Cu yang rendah akan mengurangi porositas. Cu dalam pengecoran paduan aluminium membentuk Al_2Cu yang tampak seperti partikel-partikel kecil pink diakhir solidifikasi dan Cu meningkatkan penyebaran mikroporositas. Tembaga secara signifikan meningkatkan tekanan gas hidrogen yang menyebabkan gas terlarut [1,21].

2). Uji Sifat Kekerasan

Uji kekerasan Rockwell B (HRB) yang berpedoman pada standar ASTM E18-11 menggunakan alat uji Kekerasan Rockwell HR-150A [22].

Dari Gambar 8 terlihat grafik hasil uji kekerasan dimana kekerasan kedua formula $AlSi_{10}Mg_{(b)}$ dari

skrap memenuhi standar DIN EN 1706 yaitu di atas 50HBN. *Range* kekerasan pada formula 1 sebesar 129-139HBN dan *Range* kekerasan formula 2 sebesar 178-204HBN. Diantara kedua formula, kekerasan tertinggi pada formula 2 terlihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik rata-rata uji kekerasan (HBN)

Pada formula 2 kandungan Cu lebih tinggi dibandingkan formula 1. Dan kandungan unsur Cu digunakan untuk memperbaiki kekuatan dan kekerasan [1,6]. Tetapi kandungan Cu tinggi juga linier dengan pertambahan persentase porositas yang menyebabkan kekerasan menurun [1,6].

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- 1). Komposisi kimia kedua formula material $AlSi_{10}Mg_{(b)}$ dari skrap memenuhi komposisi standar BKI yang mengacu pada DIN EN 1706 pada unsur silikon dan magnesiumnya tetapi unsur Cu yang melebihi (Tabel 9).
- 2). Nilai kekerasan kedua formula material $AlSi_{10}Mg_{(b)}$ sesuai dengan persyaratan nilai kekerasan DIN EN 1706 yaitu >50 HBN, dan dari kedua formula nilai kekerasan lebih tinggi $AlSi_{10}Mg_{(b)}$ yang berbahan utama kampak rem.

Kedua formula sesuai dengan standar DIN EN 1706 acuan BKI untuk komponen kapal, tetapi dari kedua formula lebih direkomendasikan **Formula 1** karena mengacu pada komposisi Mg yang lebih tinggi dibanding formula 2 karena unsur Mg merupakan finishing kimia, ketahanan korosi, dan kombinasi yang baik antara kekuatan dan keuletan.

Daftar Rujukan

- [1]. T. Deasy, 2014, Pembuatan Komponen Kapal Berbahan Paduan Cor $AlSi_{12}(b)$ Dari Skrap Aluminium, Tesis Magister Teknik Mesin, Universitas Diponegoro, Semarang.
- [2]. T. Deasy, 2019, Analisis Komposisi Kimia Dan Kekerasan Material Standar $AlSi_{12}(b)$ Dari Skrap Aluminium Yang Berbeda, Jurnal Engineering Universitas Pancasila Tegal, volume 10 Nomor 2, pp 53-62.
- [3]. T. Deasy, DH Gunawan, 2014, Pembuatan Bahan Standar $AlSi_{12}(b)$ dari skrap aluminium; Study komposisi kimia, porositas dan kekerasan bahan, Prosiding SNATIF-KUDUS, vol. 1

- [4]. Biro Klasifikasi Indonesia (BKI), 2006, *Rules for the classification and construction of seagoing steel ships*, volume V section 10.
- [5]. Prof. Ir. Tata Surdia MS., 2000, *Teknik Pengecoran Logam*, Pradnya Paramita, Jakarta.
- [6]. ASM Metal Handbook Vol5, 1998, *Casting*
- [7]. W. Khraisata, and W. Abu Jadayil, 2010, *Strengthening Aluminum Scrap by Alloying with Iron*, JJMIE Volume 4 Number 3, June.
- [8]. H. Amini Mashhadi, A. Moloodi, M. Golestanipour, E.Z.V. Karimi, 2009, *Recycling of aluminium alloy turning scrap via cold pressing and melting with salt flux*, Science Direct, Elsevier, Journal of materials processing technology 2 0 9, 3138–3142.
- [9]. Subodh K. Dash, June 2006, *Designing Aluminum Alloys for a Recycle-Friendly World*, Journal of Light Metal Age.
- [10]. Y. Xiao, M.A. Reuter, Juli 2002, *Recycling of distributed aluminium turning scrap*, Science Direct, Elsevier, Mineral Engineering 15 (2000) 963-970.
- [11]. T.O. Mbuya, B.O. Odera, S.P. Ng'ang'a and F.M. Oduori, 2010, *Effective Recycling of Cast Aluminium Alloys for Small Foundries*, Jomo Kenyatta University of Agriculture and Technology, JAGST Vol. 12(2).
- [12]. ASM Metal Handbook Vol.3, 1998, *Alloy Phase Diagrams*.
- [13]. R. Widodo, April 2012, *Teknik Pengelolaan Bahan Baku Peleburan Aluminium*, Jurnal Foundry Vol. 2 No. 1, ISSN : 2087-225.
- [14]. T. Lipiński, 2008, *Influence exothermic mixtures contents Na or B on elongation and hardness AlSi12 alloy*, Archives of Foundry Engineering (AFE), ISSN (1897-3310) Volume 8 Issue 1.
- [15]. Suhariyanto, 2002, *Perbaikan Sifat Mekanik Paduan Aluminium (A356.0) dengan Menambahkan TiC*.
- [16]. DIN EN 1706, Juni 2008, *Aluminium and aluminium alloys—Castings: Chemical composition and mechanical properties*.
- [17]. Jarot Raharjo, 2001, *Pembuatan Ingot Standar Paduan Aluminium BS 1490 Seri LM 4 dan LM 13 Dari Bahan Baku Skrap*, Tesis Program Pasca Sarjana Fakultas MIPA, Program Studi Ilmu Material, Universitas Indonesia.
- [18]. Arie Hendaro, Muslim E. Harahap, Eko Syamsuddin Hasrito, Danny M. Gandana, Nopember 2011, *Peningkatan Daya Saing Baling-baling Kapal Penumpang Produk IKM Logam Di Kabupaten Tegal Melalui Pengembangan Teknologi Pengecoran dan Desain yang Hidrodinamis*, BPPT.
- [19]. Kiryanto, Eko Samito Hadi, Muhammad Ansori, Februari 2012, *Analisa Sifat Mekanik Paduan Aluminium Sebagai Rangka Jendela Kapal di Perusahaan Pengecoran Logam CV. Setia Kawan Kota Tegal dengan Cetakan Tidak Permanen*, Jurnal Kapal – vol 9 No.1.
- [20]. ASTM E 1251-04, *Standard Test Method for Analysis of Aluminum and Aluminum Alloys by Atomic Emission Spectrometry*.
- [21]. Manash Dash, Makhlof Makhlof, 2001, *Effect of key Alloying Elements on the Feeding Characteristics of Aluminium-Silicon Casting Alloys*, Journal of Light Metals 1.
- [22]. ASTM Handbook E18-11, 2004, *Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials*, PO. Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, USA.