

PEMBUATAN BAHAN STANDAR $AlSi_{12}(b)$ DARI SKRAP ALUMINIUM; STUDY KOMPOSISI KIMIA, POROSITAS DAN SIFAT KEKERASAN BAHAN

Titiek Deasy S^{1*}, Rusnaldy², Gunawan DH.²

¹Program Studi Teknik Mesin, Politeknik Purbaya Tegal
Jl. Pancakarya No.1, Kajen – Talang, Tegal

²Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof Sudharto SH, Tembalang, Semarang 50275

*Email: tiex_deaz@yahoo.com

Abstrak

Produk berkualitas perlu bahan baku yang standar. Permasalahan yang dihadapi industri pengolahan logam non ferro di Kabupaten Tegal khususnya UKM Komponen Kapal adalah ketersediaan bahan baku standar dengan harga terjangkau. Sebagai pengganti bahan baku standar, para pelaku industri menggunakan bahan baku skrap untuk menekan harga jual yang berakibat kualitas produk yang kurang memenuhi spesifikasi yang dipersyaratkan.

Skrap paduan aluminium yang ada di pasaran melalui pengumpulan database komposisi kimia, kemudian dilakukan simulasi dengan program Excel sehingga didapatkan kebutuhan bahan untuk membuat bahan standar $AlSi_{12}(b)$. Hasil simulasi bahan $AlSi_{12}(b)$ dilakukan pengecoran dengan metoda sand casting. Selanjutnya dilakukan pengujian komposisi kimia, porositas dan sifat mekanik kekerasan pada bahan $AlSi_{12}(b)$ dan membandingkan dengan produk UKM sesuai standar BKI yang mengacu pada standar DIN 1706.

Hasil uji komposisi kimia bahan $AlSi_{12}(b)$ dari skrap aluminium mendekati standar DIN EN 1706 dengan kandungan Si sebesar 13,334% sedangkan produk UKM dengan kandungan Si sebesar 7,61% tidak termasuk $AlSi_{12}(b)$ tetapi termasuk paduan cor AC-4500 atau $AlSi_6Cu_4$ sesuai standar DIN 1706 tetapi tentunya tidak termasuk paduan cor yang dipersyaratkan oleh BKI. Hasil pengujian porositas terlihat bahwa persentase porositas produk UKM lebih tinggi dengan nilai 3,65% dibandingkan persentase bahan $AlSi_{12}(b)$ sebesar 1,88%. Nilai rata-rata kekerasan bahan $AlSi_{12}(b)$ lebih tinggi dibandingkan produk UKM.

Kata kunci : Skrap Aluminium, $AlSi_{12}(b)$, UKM, BKI, DIN EN 1706, Pengecoran sand casting

1. PENDAHULUAN

Ketersediaan bahan baku standar dengan harga terjangkau merupakan permasalahan yang dihadapi IKM (Industri Kecil Menengah) Komponen Kapal di Kabupaten Tegal, Jawa Tengah. Sementara itu skrap paduan aluminium seperti kampas rem, piston, blok mesin, velg, panci, aluminium plat, siku, dsb banyak tersedia dipasaran dengan harga terjangkau. Sebanyak 29 industri kecil menengah komponen kapal (BPS, 2013) telah memanfaatkan skrap paduan aluminium sebagai bahan pengganti ingot bertujuan menekan harga jual produk. Hal tersebut berimbas pada pengabaian kualitas produk, dimana komposisi kimia dan sifat mekanik belum memenuhi spesifikasi yang dipersyaratkan. Banyak hal yang mempengaruhinya terutama keterbatasan para pelaku industri tentang bagaimana membuat bahan skrap sebagai bahan standar dan mahal biaya uji material.

W. Khraisata menyatakan bahwa aluminium 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. Seperti dikatakan H. Amini Mashadi, dkk, bahwa daur ulang (*Recycling*) mempunyai nilai penting secara ekonomi, energi, lingkungan dan sebagai implikasi penghematan sumber daya serta biaya produksi yang rendah.

Menurut Subodh Dash, 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. Seperti pendapat S. Dash, W. Khraisata, Y.Xiao dan MA Reuter juga menyakan bahwa aluminium yang di daur ulang menghemat 95% energy 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.

Sebanyak 8% Senyawa aluminium terdapat di kulit bumi dan merupakan unsur ketiga yang paling banyak digunakan setelah baja, 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. W. Khraisata menyatakan bahwa 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. Tetapi menurut J.Kotze, ada sisi negative 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. W.Khairasat mengemukakan bahwa 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.

T.O. Mbuya, dkk menyatakan 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*). Menurut W.Khraisata, 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*. 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*). Salah satu paduan aluminium cor yang digunakan untuk produk komponen kapal sesuai aturan Biro Klasifikasi Indonesia adalah AlSi₁₂(b) seperti terlihat pada tabel 1.

Lipinski menyatakan bahwa paduan Al-Si sangat populer pada paduan aluminium cor karena memiliki sifat mampu cor yang baik (*Castability*), sifat mekanik dan sifat fisik yang baik, kepadatan rendah, konduktivitas listrik dan termal yang baik, tingkat kontraksi rendah dan suhu fusi relatif rendah serta mempunyai sifat fluiditas yang baik. Paduan aluminium-silikon termasuk paduan cor (*casting alloys*) dan diberi kode seri 4xx.x. Menurut TV. Rajan, dkk, 1997, paduan aluminium dengan kandungan silikon tinggi seperti LM4, LM6, LM8 dan LM25, mempunyai karakteristik pengecoran yang sangat baik, yaitu penyusutan (*shrinkage*) yang kecil, fluiditasnya sangat bagus, impermeabilitas gas baik, dan kecenderungan rendah terhadap retak bentuk setelah solidifikasi. Paduan jenis ini secara luas diproduksi dengan menggunakan semua tipe pengecoran juga ketahanan korosinya bagus dengan terbentuknya lapisan SiO₂.xH₂O pada permukaan.

Tabel 1. Paduan aluminium cor standar BKI (BKI, volume V section 10, 2006)

Designation of alloy	Cast procedure	Material condition	Sea water suitability
EN AC-41000 (AlSi2MgTi)	S, K	F, TG	Good
EN AC-42100 (AlSi7Mg0,3)	S, K, L	TG, TG4	Good
EN AC-42200 (AlSi7Mg0,6)	S, K, L	TG, TG4	Good
EN AC-43100 (AlSi10Mg(b))	S, K, L	F, TG, TG4	Good / moderate
AN AC-44100 (AlSi12(b))	S, K, L, D	F	Good / moderate
EN AC-51000 (AlMg3(b))	S, K, L	F	Very good
EN AC-51300 (AlMg5)	S, K, L	F	Very good
EN AC-51400 (AlMg5(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)

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 (ASM Vol 3). Menurut Widodo (HAPLI), kelarutan silikon didalam 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). Lipinski (2008) dan Amit Joshi (2003) menyatakan bahwa 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.

AlSi₁₂ merupakan salah satu paduan AlSi, biasanya tersedia dan mempunyai titik lebur (*melting point*) 577°C (Z.Ma,dkk dan Kotze). Sedangkan sifat *thermo-physical* dari AlSi₁₂ pada suhu 577°C (Kotze, dkk dan Lasagni, dkk) adalah sebagai berikut:

1. Heat of fusion : 548.6 J/g
2. Densitas (*density*) : 2650 kg/m³
3. Konduktivitas panas (*Thermal conductivity*) : 190 W/m.K
4. Panas spesifik (*Specific heat*) (molten) : 0.897 J/g.K
5. Dynamic viscosity (molten) : 0.0045 N.s/m²
6. Prandtl number of AlSi₁₂ (molten) : 0.000021244

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 (Suhariyanto, 2002). Komposisi kimia AlSi₁₂(b) standar BKI megacu standar DIN EN 1706 seperti terlihat pada tabel 2.

Tabel 2. Paduan aluminium cor standar BKI (BKl, volume V section 10, 2006)

Alloy Group	Alloy designation		Chemical composition in % by mass													Aluminium
	Numerical	Chemical symbols	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Pb	Sn	Ti	Others ⁽¹⁾		
														Each	Total	
AlSi	EN AC-44000	EN AC-AlSi ₁₁	10,0 to 11,8	0,19 (0,15)	0,05 (0,03)	0,10	0,45	-	-	0,07	-	-	0,15	0,03	0,10	Remander
	EN AC-44100	EN AC-AlSi ₁₂ (b)	10,5 to 13,5	0,65 (0,55)	0,15 (0,10)	0,55	0,10	-	0,10	0,15	0,10	-	0,20 (0,015)	0,05	0,15	Remander
	EN AC-44200	EN AC-AlSi ₁₂ (a)	10,5 to 13,5	0,55 (0,40)	0,05 (0,03)	0,35	-	-	-	0,10	-	-	0,15	0,05	0,15	Remander
	EN AC-44300	EN AC-AlSi ₁₂ (Fe)	10,5 to 13,5	1,0 (0,45 to 0,9)	0,10 (0,08)	0,55	-	-	-	0,15	-	-	0,15	0,05	0,25	Remander
	EN AC-44400	EN AC-AlSi ₅	8,0 to 11,0	0,65 (0,55)	0,10 (0,08)	0,50	0,10	-	0,05	0,15	0,05	0,05	0,15	0,05	0,15	Remander

Paduan Al-Si dengan kandungan Si yang berbeda akan mempengaruhi sifat mekaniknya, seperti terlihat pada tabel 3. Standar BKI untuk sifat mekanik AlSi₁₂(b) terlihat pada tabel 4.

Tabel 3. Sifat mekanik pada paduan AlSi yang berbeda (J.Grumb, M.Kisin, 2005)

Type of alloy Designation	Chemical composition (%)				Mechanical properties	
	Si	Fe	Mn	Al the rest	Hardness HB	Tensile strength Rm (N/mm ²)
AlSi5	4,80	0,17	0,11	94,92	53	132
AlSi12	12,40	0,24	0,25	87,11	67	168
AlSi20	20,50	0,11	0,01	79,38	65	162

Tabel 4. Sifat mekanik paduan AlSi (DIN EN 1706, 2008)

Alloy group	Alloy designation		Temper Designation	Tensile strength R _m MPa Min	Yield strength R _{0.2} MPa Min	Elongation A %	Brinell Hardness HBS Min
	Numerical	Chemical symbols					
AlSi	EN AC-44000	EN AC-AlSi ₁₁	F	150	70	6	45
	EN AC-44100	EN AC-AlSi ₁₂ (b)	F	150	70	4	50
	EN AC-44200	EN AC-AlSi ₁₂ (a)	F	150	70	5	50

Untuk membuat produk dari bahan skrap seharusnya harus diketahui terlebih dahulu komposisi kimianya. Data komposisi kimia skrap sebagian telah diteliti oleh R. Widodo, Jarot Raharjo (tabel 5) dan Kiryanto, dkk (tabel 6).

Tabel 5. Komposisi kimia skrap aluminium (R. Widodo, Jarot Raharjo)

JENIS BAHAN	KOMPOSISI										
	Cu	Mg	Si	Fe	Mn	Ni	Zn	Ti	Pb	Sn	Cr
Piston	1.46	0.71	12.35	0.25	0.46	0.006	0.08	0.007	0.006	0.01	0.004
Kawat	0.12	0.01	0.78	0.47	0.06	0.01	0.02	0	0	0	0
Plat	0.05	0.007	0.13	0.37	0.015	0.004	0.005	0	0	0	0
Hanger	0.48	0.12	12.28	0.71	0.32	0.02	0.72	0.04	0.03	0.00	0.02
Roda gigi	5.87	0.02	0.14	0.23	0.02	0	0.11	0	0.54	0.01	0
Casing	2.87	0.27	10.97	0.77	0.19	0.10	0.66	0.04	0.13	0.09	0.04
Blok Mesin	4.22	0.03	10.34	0.57	0.12	0.03	0.39	0.01	0.06	0.03	0.01
Baling-baling	3.66	0.16	9.28	0.94	0.24	0.17	2.07	0.04	0.12	0.04	0.03
Panci	0.17	0.08	0.22	0.5	0.09	0.00	0.005	0.02	0.01	0.00	0.00
Kaleng Coca-cola	0.01	0.00	0.44	0.43	0.03	0.05	0.24	0	0	0.008	0.05

Beberapa penelitian bahan skrap menjadi bahan standar di Indonesia telah dilakukan seperti oleh Jarot Raharjo (2001) membuat bahan standar LM 4 dan LM 13 dari skrap Piston, kawat, plat, hanger, roda gigi, casing, blok mesin, baling-baling, panci, Cu kabel dan AlSi₄₉ menggunakan cetakan pasir dan logam melalui proses simulasi tabel program excel. Arie Hendarto, dkk (2007) membuat bahan ADC 10 dari skrap piston, blok mesin, casing, panci, roda gigi, AlSi₄₅ dan Altab Cu, membuat ADC 12 dari skrap piston, blok mesin, casing, pelat, panci, AlSi₄₅ dan Altab Cu serta membuat AC4D dari skrap piston, blok mesin, casing, velg enkei, plat/list/profil, AlCu ingot, AlMg dan AlMn menggunakan cetakan pasir dapur krusibel. Kiryanto, dkk (2012) membuat JIS H 4000 1970 Seri 5005 atau SNI 07-1352-1989 AC2A dari skrap Aluminium siku dan kampas rem (tanpa rumus peramuan) dan dari skrap aluminium plat dan panci (tanpa rumus peramuan) dengan menggunakan cetakan pasir dapur UKM.

Tabel 6. Komposisi kimia skrap aluminium (Kiryanto, dkk)

JENIS BAHAN	KOMPOSISI										
	Cu	Mg	Si	Fe	Mn	Ni	Zn	Ti	Pb	Sn	Cr
Aluminium siku	0.028	0.0171	0.09	0.1975	0.0177	0.0024	0.0352	0.0161	0.0006	0.0054	0.005
Kampas Rem	2.245	0.1226	10.66	1.1163	0.1586	0.0568	0.8256	0.0252	0.0609	0.0235	0.0264
Panci bekas	0.156	0.0294	0.7	0.6236	0.0815	0.0136	0.6461	0.0193	0.0436	0.0119	0.0123
Aluminium plat	0.06	0.6355	0.38	0.4249	0.0408	0.0084	0.0854	0.0143	0.0063	0.0072	0.0106

Pada penelitian kali ini akan membuat 2 bahan paduan cor AlSi₁₂(b) dari bahan skrap paduan 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”. Komposisi kimia yang diharapkan sesuai tabel 2 dan sifat mekanik yang diharapkan sesuai standar DIN EN 1706 pada tabel 4.

2. METODOLOGI

Material penelitian yang digunakan merupakan kumpulan acak dari skrap aluminium yang diperoleh dari lokasi industri kecil pengecoran logam aluminium di daerah Kebasen, Kabupaten Tegal, Jawa Tengah berdasarkan pada ketersediaan yang melimpah. Untuk menghasilkan bahan AlSi₁₂(b) harus menggunakan dengan kandungan silikon yang cukup tinggi maka dipilihlah piston sebagai material utama ditambah panci, aluminium siku, aluminium plat dan master alloy AlSi₄₉.

Skrap aluminium yang digunakan sebagai bahan baku pembuatan bahan paduan cor AlSi₁₂(b) tersebut kemudian di data komposisi kimia masing-masing skrap-nya yang merujuk pada Peneliti sebelumnya tentang skrap aluminium (tabel 5 dan tabel 6). Sebagai pembanding adalah produk UKM berupa jendela kapal.

Proses selanjutnya adalah membuat simulasi dengan metode tabel menggunakan perangkat lunak MS.excel. Dari hasil simulasi didapatkan bahan untuk membuat produk jendela kapal berbahan AlSi₁₂(b) dari 6 Kg skrap dengan rincian kebutuhan piston 0,3Kg; panci 0,3Kg; aluminium siku 3Kg; aluminium plat 0,9Kg dan AlSi₄₉ master alloy sebesar 1,5Kg

Alat yang digunakan pada proses cor adalah dapur krusibel dengan tipe dapur terbuka dengan menggunakan bahan bakar solar dan bensin. Kontruksi dapur terdiri atas krusibel sebagai tempat peleburan logam yang terletak di tengah-tengah dapur dengan dapur terbuat dari bahan tahan api yang sekaligus sebagai penyekat panas (isolator panas) sedangkan burner dipasang pada tungku sebagai penghubung ke bahan bakar, kowi untuk memasak logam cair diletakkan ditengah-tengah dikelilingi oleh batu tahan api seperti terlihat pada gambar 1a.



Gambar 1. a) tungku peleburan aluminium; b)kowi kapasitas 10Kg; c)pola cetakan pasir; d)penimbangan skrap; e)pembuatan cetakan

Kowi digunakan sebagai tempat untuk melebur dan mencampur coran. Kowi yang digunakan berbahan keramik dengan kapasitas pemasakan 10Kg seperti terlihat pada gambar 1b. Cetakan coran yang digunakan adalah jenis cetakan pasir berbentuk pola jendela kapal yang terbuat dari bahan kayu (pada gambar 1c). Alat bantu lain adalah timbangan, mesin gerinda, mesin potong, gayung untuk penuangan, serok baja, termokopel dan mesin bubut. Sebelum melakukan pengecoran, bahan-bahan hasil simulasi kemudian ditimbang sesuai kebutuhannya dengan alat timbang digital merk CAS (gambar 1d), selanjutnya dilakukan proses pemotongan dan pembuatan cetakan (gambar 1e)

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

Proses pengecoran bahan 1 diawali dengan pengisian bahan bakar solar+bensin kemudian dihembuskan udara menggunakan blower untuk pemanasan kowi selama ± 10 menit. Selanjutnya bahan-bahan 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. Bahan skrap kampak rem ditambahkan ke dalam kowi diikuti penambahan AlSi₄₉ master alloy. Ketika bahan 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 2. a)suhu berhenti pengadukan; b) suhu penuangan; c) proses penuangan; d)proses pembongkaran cetakan

Pengecekan suhu menunjukkan ± 700⁰C (Gambar 2a) 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 731⁰C seperti terbaca pada termokopel digital pada gambar 2b dan selanjutnya dilakukan proses penuangan secara manual seperti terlihat pada gambar 2c. Proses selanjutnya adalah pembongkaran cetakan yang sudah diisi logam cair setelah ± 20 menit dari waktu penuangan dengan harapan produk cor sudah padat seperti terlihat pada gambar 2d.

Produk hasil cor dilakukan pengujian komposisi kimia dengan ukuran spesimen diameter 39 mm dan tebal 27 mm. Peralatan uji menggunakan mesin uji komposisi (spectrometer) shimadzu OES 5500 II standard ASTM E 1251-04. Preparasi spesimen setelah dipotong kemudian dipoles dengan mesin poles. Penembakan dilakukan sebanyak 4 kali untuk diambil rata-rata komposisi kimia bahan.

Pengujian densitas dengan ukuran spesimen 20mmx20mmx20mm dengan menggunakan neraca densitas digital sehingga dihasilkan densitas actual (*apparent density*). Densitas teoritis dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\rho_{th} = \frac{100}{\{(\%Al/\rho_{Al})+(\%Cu/\rho_{Cu})+(\%Fe/\rho_{Fe})+etc.\}} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana ρ_{th} = True Density (gr/cm³) dan %Al, %Si dst. adalah prosentase berat unsur. Hasil densitas aktual kemudian dibandingkan dengan densitas teoritis untuk mendapatkan persentase porositas dengan perhitungan menggunakan rumus pada persamaan 2.

$$\% P = \left(1 - \frac{\rho_s}{\rho_{th}}\right) \times 100\% \dots\dots\dots(2)$$

Dimana %P = Persentase porositas (%), ρ_s = Apparent Density (gr/cm³) dan ρ_{th} = True Density (gr/cm³)

Uji kekerasan Rockwel B (HRB) berpedoman pada standar ASTM E18-11 menggunakan alat uji Kekerasan Rockwell HR-150A dengan ukuran spesimen 20mmx20mmx20mm. Preparasi spesimen setelah dipotong kemudian dipoles dengan mesin poles. Pengujian dilakukan dengan 3 kali penekanan indenter.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Uji Komposisi kimia

Hasil uji komposisi kimia dapat dilihat paada tabel 7.

Tabel 7. Hasil uji komposisi

Keterangan	Si	Cu	Cu	Mn	Ni	Zn	Pb	Sn	Al
Formula AlSi12(b)	13,334	0,173	0,412	0,02	0,031	0,138	0,019	0,006	85,864
UKM	7,61	1,83	1,24	0,2	0,11	4,34	0,12	0	84,53
DIN EN 1706	10,5 - 13,5	0,1 - 0,15	0,55 - 0,65	0,55	0,1	0,15	0,1	-	-

Data hasil pengujian komposisi yang terlihat pada tabel 7 menunjukkan kandungan unsur silikon bahan AlSi₁₂(b) sebesar 13,334% telah memenuhi komposisi kimia standar DIN EN 1706 walaupun untuk kandungan Cu melebihi sedikit. Hasil uji komposisi produk UKM dengan kandungan Si sebesar 7,61% sangat jauh dari standar DIN EN 1706 ditambah dengan perbedaan kandungan Cu yang sangat signifikan. Kecenderungan produk UKM termasuk paduan cor AC-4500 atau AlSi₆Cu₄ sesuai standar DIN 1706 tetapi tentunya tidak termasuk paduan cor yang dipersyaratkan oleh BKI apalagi dengan kandungan Cu-nya yang terlalu tinggi.

3.2 Uji densitas dan porositas

Hasil pengujian densitas dan porositas dapat dilihat pada tabel 8 berikut:

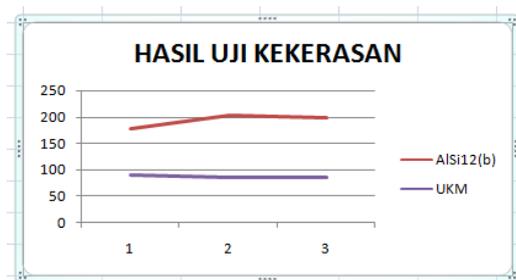
Tabel 8. Hasil uji densitas dan perhitungan porositas

Spesimen	App. Density (gr/cm ³)	True Density (gr/cm ³)	% Porositas
Bahan AlSi12(b)	2,61	2,66	1,88
UKM	2,72	2,86	3,65

Terlihat bahwa persentase porositas produk UKM lebih tinggi dengan nilai 3,65% dibandingkan persentase bahan $AlSi_{12}(b)$ sebesar 1,88%. Hal ini dapat dijelaskan melalui kandungan unsur-unsur dari kedua produk. Dash dan Makhhlouf menyatakan bahwa Cu mempunyai pengaruh negative terhadap porositas artinya kandungan Cu yang rendah akan mengurangi porositas. Tembaga secara signifikan meningkatkan tekanan gas hidrogen yang menyebabkan gas terlarut. Pada *casting product* dengan persentase tembaga tinggi mengakibatkan porositas gas bertambah, hal ini sejalan dengan menurunnya mampu alir paduan *melt* dengan bertambahnya %Cu seperti yang dinyatakan oleh Silva dkk. Jadi terlihat jelas bahwa pengaruh adanya porositas adalah kandungan Cu yang tinggi.

3.3 Uji sifat kekerasan

Uji kekerasan Rockwel B (HRB) yang berpedoman pada standar ASTM E18-11 menggunakan alat uji Kekerasan Rockwell HR-150A terlihat pada grafik gambar 3.



Gambar 3. Grafik rata-rata uji kekerasan (HBN)

Dari gambar 3 terlihat grafik hasil uji kekerasan dimana kekerasan bahan $AlSi_{12}(b)$ lebih tinggi dibandingkan produk UKM. Seperti diketahui bahwa kandungan unsur Cu digunakan untuk memperbaiki kekuatan dan kekerasan. Tetapi kandungan Cu tinggi juga linier dengan penambahan persentase porositas yang menyebabkan kekerasan menurun.

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- (1) Komposisi kimia bahan $AlSi_{12}(b)$ dari skrap mendekati komposisi standar BKI yang mengacu pad DIN 1706, sedangkan produk UKM termasuk paduan cor AC-4500 atau $AlSi_6Cu_4$ sesuai standar DIN 1706 tetapi tidak termasuk paduan cor yang dipersyaratkan oleh BKI
- (2) Persentase porositas bahan $AlSi_{12}(b)$ sebesar 1,88% lebih rendah dibanding persentase produk UKM sebesar 3,65%.
- (3) Nilai rata-rata kekerasan bahan $AlSi_{12}(b)$ lebih tinggi dibanding dengan nilai rata-rata kekerasan produk UKM.

DAFTAR PUSTAKA

- Amit M Joshi, "Aluminium Foundry Practice", Dept. of metallurgical Engineering & Materials Science, Indian Institute of Technology – Bombay (IIT – Bombay), India.
- ASM Metal Handbook Vol.3, 1998, "Alloy Phase Diagrams".
- ASTM Handbook E18-11, 2004, "Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials", PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States,.
- ASTM B 26/B 26M, "Specification for Aluminum-Alloy Sand Casting"
- ASTM E 1251-04, "Standard Test Method for Analysis of Aluminum and Aluminum Alloys by Atomic Emission Spectrometry"
- Biro Klasifikasi Indonesia, 2006, "Rules for the classification and construction of seagoing steel ships", volume V section 10.
- BPS, 2013, "Tegal Dalam Angka", Kab. Tegal.
- DIN EN 1706, Juni 2008, "Aluminium and aluminium alloys–Castings: Chemical composition and mechanical properties".

- F. Lasagni, A. Lasagni, E. Marks, C. Holzappel, F. Mu'cklich, H.P. Degischer., "Three-dimensional characterization of 'as-cast' and solution-treated AlSi12(Sr) alloys by high-resolution FIB tomography", Science Direct, Elsevier, Acta Materialia 55, 3875–3882, 2007.
- H. Amini Mashhadi, A. Moloodi, M. Golestanipour, E.Z.V. Karimi, "Recycling of aluminium alloy turning scrap via cold pressing and melting with salt flux", Science Direct, Elsevier, Journal of materials processing technology 209, 3138–3142, 2009.
- Ir. Arie Hendarto, Ir. Muslim E. Harahap, M.Sc., MBA., Dr. M.Eng. Eko Syamsuddin Hasrito, Dr. Ir. 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.
- J. Grum, M. Kisin, "The influence of the microstructure of three Al–Si alloys on the cutting-force amplitude during fine turning", Science Direct, Elsevier, International Journal of Machine Tools & Manufacture 46 (2006) 769–781, Available online 8 September 2005.
- Jarot Raharjo, "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, 2001.
- Johannes P. Kotzé, 2013, "Evaluation of a latent heat thermal energy storage system using AlSi12 as a phase change material", Stellenbosch University Centre for Renewable and Sustainable Energy Studies, ASME, Journal of Solar Energy Engineering, Vol. 135.
- 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.
- Manash Dash, Makhlof Makhlof, "Effect of key Alloying Elements on the Feeding Characteristics of Aluminium-Silicon Casting Alloys", Journal of Light Metals 1, pp 251-265, 2001.
- M.A. Talamantes-Silva., A.Radrigues., J. Talamantes-Silva., S.Valtierra, Rafael Colas, 2008, "Characterization of an Al-Cu Alloy Material Characterization 59" Elsevier.
- R. Widodo, , April 2012, "Teknik Pengelolaan Bahan Baku Peleburan Aluminium", Jurnal Foundry Vol. 2 No. 1, ISSN : 2087-225.
- R. Widodo, "Perhitungan Peramuan Bahan Peleburan", Komunitas Praktisi Pengecoran Indonesia, HAPLI, download Januari 2014.
- S.Suzuki., T-B Kim., H Nakajima, , 2009, "Fabrication of Al-Cu alloy with elongated pores by continuous casting technique", Journal of Physics: Conference Series 165, 012068 doi:10.1088/1742-6596/165/1/012068.
- Subodh K. Dash, , JUNE 2006, "Designing Aluminum Alloys for a Recycle-Friendly World", LIGHT METAL AGE.
- S.Suzuki., T-B Kim., H Nakajima, "Fabrication of Al-Cu alloy with elongated pores by continuous casting technique", Journal of Physics: Conference Series 165, 012068 doi:10.1088/1742-6596/165/1/012068, 2009.
- Suhariyanto .,2002., Perbaikan Sifat Mekanik Paduan Aluminium (A356.0) dengan Menambahkan TiC
- T. Lipiński, "Influence exothermic mixtures contents Na or B on elongation and hardness AlSi12 alloy", ARCHIVES of FOUNDRY ENGINEERING (AFE), ISSN (1897-3310) Volume 8 Issue 1/2008.
- 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).
- TV. Rajan, C.P. Sharma dan Ashok Sharma, , July 1997, "Heat Treatment, Principle and Techniques", Prentice Hall of India Private Limited, New Delhi, 7th printing.
- W. Khraisata, and W. Abu Jadayil, "Strengthening Aluminum Scrap by Alloying with Iron", JJMIE Volume 4 Number 3, June, 2010.
- Y.Xiao, M.A. Reuter, , Juli 2002, "Recycling of distributed aluminium turning scrap", Science Direct, Elsevier, Mineral Engineering 15 (2000) 963-970.
- Z. Ma, E.Samuel, A.M.A. Mohamed, A.M. Samuel, F.H. Samuel, H.W. Doty, , 2010, "Parameters controlling the microstructure of Al–11Si–2.5Cu–Mg alloys", Science Direct, Elsevier, Journal Materials and Design 31, 902–912