

Analisis Porositas Hasil Pengecoran Pada Pembuatan Material Standar ALSi12(B) dari Material Paduan Aluminium Bekas Terhadap Komposisi Kimia dan Cacat Porositas

Titiek Deasy Saptaryani¹, Budi Santoso²

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

Email: titiekdspurbaya@gmail.com

Kata Kunci:

*ALSi12(B), Skrap
Aluminium, BKI, DIN EN
1706, Sand Casting,
Komposisi Kimia, Porositas*

Abstrak: Kualitas produk manufaktur sangat bergantung pada standar material, termasuk komposisi kimia yang dipersyaratkan dan ketiadaan cacat. Namun, sulitnya mendapatkan bahan baku standar yang terjangkau membuat banyak IKM di Kabupaten Tegal menggunakan skrap atau material bekas untuk pembuatan komponen kapal. Penggunaan skrap ini memerlukan pengujian untuk memastikan produk memenuhi standar Biro Klasifikasi Indonesia (BKl) dan DIN EN 1706, namun banyak IKM mengabaikan hal ini, sehingga kualitas produk sering tidak sesuai spesifikasi yang ditetapkan. Penelitian ini merumuskan ALSi12(B) dari skrap dudukan kampas rem, aluminium siku, aluminium plat, panci, dan master alloy ALSi49. Setelah simulasi komposisi kimia, dilakukan pengecoran menggunakan metode sand casting. Hasil pengujian menunjukkan bahwa formula ALSi12(B) memenuhi standar BKl dan DIN EN 1706, kecuali kandungan tembaga yang melebihi batas. Sementara itu, produk IKM menggunakan material acak seperti AC-4500 atau ALSi6Cu4 yang tidak memenuhi standar BKl. Persentase porositas pada formula dudukan kampas rem adalah 2,85%, sedikit lebih rendah dari produk IKM yang mencapai 2,97%.

*This is an open access article under the CC BY License
(<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).*



Copyright holders:

Titiek Deasy Saptaryani, Budi Santoso (2024)

PENDAHULUAN

Industri logam IKM (Industri Kecil Menengah) di Kabupaten Tegal, Jawa Tengah, digolongkan kedalam industri logam fero dan non fero, salah satunya IKM komponen kapal. Material untuk membuat komponen kapal selain 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.

Sebanyak 29 IKM komponen Kapal tersebut telah memanfaatkan skrap paduan aluminium melalui proses pengecoran teknik cetakan pasir (*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 mahal biaya uji material.

Kelebihan proses pengecoran adalah dapat membuat produk dengan geometri yang kompleks, dapat membuat bentuk baik eksternal maupun internal dengan kualitas yang diinginkan, 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. Kekurangannya adalah mengurangi sifat mekanik (kekuatan), untuk teknik cor tertentu menghasilkan produk yang kurang baik secara dimensi, permukaan kasar dan dapat terjadi cacat-cacat cor terutama pada teknik *sand casting*. Selain itu menimbulkan masalah lingkungan dengan polusi yang ditimbulkan dan bahaya untuk operator karena bersinggungan dengan logam cair panas.

Pengecoran yang dikenal didunia industri antara lain: *sand casting*, *permanent mold casting*, pengecoran gravitasi, *die casting*, *squeeze*, dsb. IKM pengecoran di Kabupaten Tegal rata-rata masih menggunakan metoda *sand casting* dengan pasir cetak yang memiliki kelebihan dan kelemahan. Kalau diteliti lebih jauh sebenarnya sering terjadi beberapa cacat coran seperti porositas, penyusutan, dan lain-lain yang seharusnya dilakukan pengujian, tetapi dengan keterbatasannya sering mengabaikan karena cacat cor yang terjadi tidak dapat terlihat. Ketika proses mengikuti standar yang berlaku dan dilakukan pengujian diharapkan produk dapat diterima. Standar proses pengecoran dengan beragam metode mengacu pada standar ASM Handbook vol 15 [4]. Ketika material yang digunakan adalah paduan aluminium maka standar sifat mekanik dan komposisi kimianya mengacu pada standar CEN EN 1706.

Paduan aluminium dapat di daur ulang (*recycle*) tanpa batas dan tanpa kehilangan karakteristik superior nya. Daur ulang paduan aluminium mempunyai nilai penting secara ekonomi, energi, lingkungan dan sebagai implikasi penghematan sumber daya serta biaya produksi yang rendah. Daur ulang menghemat 95% energi yang diperlukan untuk menghasilkan aluminium dari bahan baku alam dimana 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 juga memiliki efek penting terhadap emisi CO₂ karena daur ulang aluminium hanya menghasilkan 4% CO₂ dibanding dengan produksi dari sumber daya alam. Di Amerika, setiap kenaikan 1% jumlah kaleng aluminium yang didaur ulang, penghematan ekonomi nya sebesar \$12 Juta/tahun.

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. 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. Namun sisi negatif penggunaan aluminium kekuatan rendah pada temperatur tinggi, *fusing point* rendah, kekerasan rendah, resistan terhadap keausan dan abrasi rendah, kekuatan fatik dan kekuatan mulur juga rendah. Selain itu, aluminium mempunyai suhu leleh (*melting temperature*) rendah dan memiliki kekuatan tarik yang rendah yaitu kekuatan-tarik 90-140 N/mm². Aluminium dapat dipadu dengan banyak elemen untuk memproduksi

cakupan yang luas dengan sifat yang spesifik untuk tujuan yang berbeda. 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*).

Yang paling populer dan sering digunakan pada paduan aluminium cor adalah paduan Al-Si karena dapat diproses dengan semua metode pengecoran, memiliki sifat mampu cor yang baik (*Castability*), sifat mekanik dan sifat fisik baik, kepadatan rendah, konduktivitas listrik dan termal 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. 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 $\text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ pada permukaan.

Salah satu paduan aluminium cor yang digunakan untuk produk komponen kapal sesuai aturan Biro Klasifikasi Indonesia adalah ALSi12(B) seperti terlihat pada tabel 1.

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 (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, D	F, TG, TG4	Good / moderate
AN AC-44100 (AlSi12(B))	S, K, L	F	Good / moderate
EN AC-51000 (AlMg _{3(b)})	S, K, L	F	Very good
EN AC-51300 (AlMg ₅)	S, K, L	F	Very good
EN AC-51400 (AlMg ₅ (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 aluminum ALSi12(B) merupakan bahan komponen kapal sesuai standar Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) dari jenis *casting aluminium alloy* dan berdasarkan *European Nation* (EN) *Aluminum Casting* (AC)-44100, sehingga biasa ditulis dengan EN AC-44100 ALSi12(B). Seperti terlihat pada tabel 1 menyatakan bahwa paduan EN AC-44100 ALSi12(B) termasuk dalam paduan aluminium silikon yang *non-heatratable* dan dapat diproses melalui *sand casting*,

permanent mould casting, investement casting dan *pressure die casting*. 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%.

Paduan AlSi₁₂ mempunyai titik lebur (*melting point*) 577°C – 750°C. Sedangkan sifat *thermo-physical* dari AlSi₁₂ pada suhu 577°C adalah Densitas (*density*) 2650 kg/m³, *Heat of fusion* 548.6 J/g, konduktivitas panas (*Thermal conductivity*) 190 W/m.K, dan panas spesifik (*Specific heat*) (molten) 0.897 J/g.K. Paduan Al-Si dengan kandungan Si yang berbeda akan mempengaruhi sifat mekaniknya. 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. Komposisi kimia AlSi₁₂(B) standar BKI megacu standar DIN EN 1706 seperti terlihat pada tabel 2.

Tabel 2. Paduan aluminium cor standar BKI

Alloy Group	Alloy designation		Chemical composition in % by mass													Aluminum
	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 ₁₂	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

Untuk membuat produk komponen kapal dari bahan skrap paduan aluminium harus diketahui terlebih dahulu komposisi kimianya. Komposisi kimia skrap yang telah diteliti terlihat pada tabel 3.

Tabel 3. Komposisi kimia skrap aluminium

No	JENIS BAHAN	KOMPOSISI											
		Cu	Mg	Si	Fe	Mn	Ni	Zn	Ti	Pb	Sn	Cr	Al
1	Dudukan kampas rem	2,25	0,12	10,66	1,12	0,16	0,06	0,83	0,03	0,06	0,02	0,03	100,00
2	Aluminium siku	0,03	0,02	0,09	0,20	0,02	0,00	0,04	0,02	0,00	0,01	0,01	100,00
3	Aluminium plat	0,06	0,64	0,38	0,42	0,04	0,01	0,09	0,01	0,01	0,01	0,01	100,00
4	Panci bekas	0,16	0,03	0,70	0,62	0,08	0,01	0,65	0,02	0,04	0,01	0,01	100,00

Beberapa penelitian bahan skrap menjadi bahan standar di Indonesia telah dilakukan yaitu 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. Pembuatan 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. Paduan aluminium JIS H 4000 1970 Seri 5005 atau SNI 07-1352-1989 AC2A dari campuran skrap aluminium siku dan dudukan kampas rem serta campuran dari skrap aluminium plat dan panci dengan menggunakan cetakan pasir dapur IKM tetapi tanpa rumus peramuan.

Paduan aluminium yang dibentuk dengan proses penuangan sering terjadi cacat terutama jika metode yang digunakan adalah *sandcasting*, baik itu berbentuk rongga dan akibat penyusutan. Aluminium memiliki penyusutan yang tinggi, sehingga bila kita menginginkan ukuran yang tepat maka harus diperhitungkan proses penyusutannya. Di samping itu aluminium

cair sangat peka terhadap terbentuknya oksidasi dipermukaan dan terperangkapnya gas-gas lain seperti hidrogen dalam cairan. Hal ini sangat merugikan dalam hal kualitas hasil penuangan, karena mengakibatkan kegetasan dan cacat-cacat karena unsur pengotor.

Pada proses pengecoran, pembekuan dimulai dari logam cair yang bersentuhan dengan cetakan dan pada umumnya logam memiliki densitas yang lebih tinggi pada keadaan padat dibandingkan dalam keadaan cair, perbedaan ini akan memicu terjadinya penyusutan selama pembekuan, hasilnya pada bagian tengah, bagian yang paling lambat mengalami pembekuan akan mengalami cacat penyusutan. Pembekuan (*solidification*) selama pengecoran mengalami tiga jenis penyusutan yaitu: *liquid contraction*, *solidification contraction* dan *solid contraction*. *Liquid contraction* adalah penyusutan yang terjadi pada logam cair jika logam cair didinginkan dari temperatur tuang menuju temperatur pembekuan (*solidification temperature*). *Solidification contraction* adalah penyusutan yang terjadi selama logam cair melalui *fasa* pembekuan (perubahan *fasa* cair menjadi *fasa* padat). *Solid contraction* adalah penyusutan yang terjadi selama periode *solid metal* didinginkan dari temperatur pembekuan menuju temperatur ruang. *Liquid contraction* dan *solidification contraction* dapat ditangani dengan merancang sistem *riser* yang baik dan tepat. Kekosongan (*void*) yang ditimbulkan oleh dua jenis penyusutan tersebut diisi cairan logam yang disuplai dari *riser*. Sedangkan *solid contraction* dapat diatasi dengan membuat dimensi pola lebih besar daripada dimensi produk cor untuk mengkompensasi penyusutan yang terjadi.

Porositas adalah suatu cacat atau *void* pada produk cor yang dapat menurunkan kualitas paduan cor. Cacat yang disebabkan adanya gas yang terjebak dalam coran dalam ukuran yang kecil dan tersebar secara acak. Penyebab utama timbulnya cacat porositas pada proses pengecoran adalah: temperatur penuangan yang tinggi, cetakan yang kurang kering, reaksi antara logam induk dengan uap air dari cetakan, kelarutan hidrogen yang tinggi dan adanya gas yang terserap. Terdapat tiga sumber gas yang dapat menyebabkan terjadinya cacat porositas pada produk coran yaitu udara yang terhisap masuk bersama logam cair pada waktu proses penuangan (*pouring*), gas/udara yang larut di dalam logam cair pada saat proses peleburan dikarenakan dengan meningkatnya temperatur dari logam cair maka kelarutan gas di dalam logam cair akan meningkat, gas atau uap yang timbul akibat terjadinya kontak antara logam cair dengan dinding cetakan akibat cetakan yang mengandung bahan yang mudah menguap seperti air (cetakannya basah).

Dari penjelasan diatas maka penelitian kali ini akan membuat 1 (satu) formula material paduan cor ALSi12(B) dari bahan skrap aluminium yang mengacu pada standar material BKI seperti dalam tabel 1 dengan skrap dudukan kampas rem berbahan paduan aluminium dengan membandingkan produk IKM dengan uji komposisi kimia dan perhitungan porositasnya. Metoda pengecoran yang dilakukan mengacu pada standar ASTM: ASTM B 26/B 26M, "*Specification for Aluminum-Alloy Sand Casting*". Komposisi kimia yang diharapkan sesuai standar DIN EN 1706 pada tabel 2.

METODE

Paduan ALSi12(B) dibuat harus menggunakan paduan aluminium dengan kandungan silikon yang cukup tinggi maka dipilihlah material skrap yaitu dudukan kampas rem, ditambah panci, aluminium siku, aluminium plat dan *master alloy* ALSi₄₉ dengan komposisi silikon 45%, dan besi (Fe) 0,24%.

Data komposisi kimia unsur masing-masing skrap seperti pada tabel 3, dilakukan simulasi menggunakan perangkat lunak MS.excel dengan acuan komposisi target pada tabel 2, didapatkan kebutuhan masing-masing skrap untuk membuat 2 kg paduan ALSi12(B) terlihat

pada tabel 4.

Tabel 4. Kebutuhan material skrap untuk membuat paduan AlSi12(B)

No	JENIS BAHAN	KEBUTUHAN BAHAN (Kg)
1	Dudukan kampas rem	0,1
2	Panci	0,1
3	Aluminium siku	1
4	Aluminium Plat	0,3
5	AISI 49 <i>master alloy</i>	0,5
Total		2,00

Proses selanjutnya adalah pengecoran dimulai dengan persiapan bahan yang sudah dipotong dan ditimbang sesuai tabel 4. Alat yang digunakan adalah dapur krusibel dengan tipe dapur terbuka dengan menggunakan bahan bakar solar dan bensin, konstruksi 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.



a



b



c

Gambar 1. a) tungku peleburan Al; b) kowi 5 Kg; c) cetakan pasir

Kowi digunakan sebagai tempat untuk melebur dan mencampur coran. Kowi yang digunakan berbahan keramik dengan kapasitas pemasakan 5 Kg seperti terlihat pada gambar 1b. Cetakan jenis cetakan pasir (pada gambar 1c). Alat bantu lain adalah timbangan, mesin gerinda, mesin potong, gayung untuk penuangan, serok baja, termokopel dan mesin bubut.

Pengecoran/*casting* dengan melebur bahan baku skrap paduan aluminium 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 utama dudukan kampas 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.

Pengecekan suhu menunjukkan $\pm 700^{\circ}\text{C}$ seperti pada 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 731°C 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.



Gambar 2. a) suhu berhenti pengadukan; b) suhu tuang; c) penuangan; d) pembongkaran cetakan

Untuk produk IKM, proses yang dilakukan serupa tetapi untuk material yang dicor tidak melakukan proses penimbangan dan skrap yang digunakan secara acak. Produk hasil cor dilakukan pengujian komposisi kimia dengan ukuran spesimen $20 \times 20 \times 20 \text{ mm}^3$. 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 porositas hasil pengecoran diawali dengan pengujian densitas spesimen formula dan produk UKM. Pengujian densitas dilakukan berdasarkan hukum Archimedes. Dengan peralatan yang dipakai adalah timbangan merk VIBRA dengan ketelitian 0,001 gram dan medianya menggunakan fluida air. Bahan yang digunakan dalam uji densitas adalah spesimen formula dudukan kampas rem dan produk IKM berukuran $20 \times 20 \times 20 \text{ mm}^3$ dan air murni, sedangkan peralatan penunjang adalah wadah untuk tempat air dan jangka sorong. Langkah Pertama dilakukan pengukuran sampel uji dengan jangka sorong untuk mencari volume spesimen. Kemudian dilakukan pengukuran massa kering dengan menimbang spesimen di udara. Dilakukan juga pengukuran massa basah dengan menimbang spesimen dengan posisi dicelupkan kedalam air. Dengan neraca digital pengukur densitas akan diketahui densitas pengukuran (*apparent density*) sesuai persamaan.

$$\rho_{\text{apparent}} = \rho_{\text{water}} \times \frac{\text{mass dry}}{\text{mass dry} - \text{mass wet}} \quad \dots\dots\dots(1)$$

Selanjutnya menghitung densitas teoritis (*true density*) sesuai persamaan. *True density* merupakan massa jenis material tanpa porositas.

$$\rho_{\text{th}} = \frac{100}{\{(\%Al/\rho_{Al}) + (\%Cu/\rho_{Cu}) + (\%Fe/\rho_{Fe}) + \text{etc.}\}} \quad \dots\dots\dots(2)$$

Kemudian dilakukan perhitungan porositas dengan membandingkan densitas sampel atau *apparent density* dengan densitas teoritis atau *true density*.

$$P(\% \text{ Vol}) = \frac{\rho_{\text{th}} - \rho_{\text{app}}}{\rho_{\text{th}}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(3)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Uji Komposisi kimia

Hasil uji komposisi kimia menggunakan mesin uji komposisi (*spectrometer*) shimadzu OES 5500 II standard ASTM E 1251-04 terlihat paada tabel 5.

Tabel 5. Hasil uji komposisi

Produk	Komposisi kimia (%)								
	Si	Cu	Fe	Mg	Mn	Ni	Zn	Pb	Sn
Formula Dudukan kampas rem	13,38	0,9	0,63	0,83	0,11	0,03	0,33	0,04	0,03
IKM	7,61	1,83	1,24	0,2	0,2	0,11	4,34	0,12	0
AlSi12(b) standar DIN EN 1706	10,5-13,5	0,1-0,15	0,55-0,65	0,1	0,55	0,1	0,15	0,1	0

Data hasil pengujian komposisi yang terlihat pada Tabel 5, menunjukkan bahwa Fomula dudukan kampas rem termasuk paduan cor AlSi12(B) dengan melihat dari kandungan unsur silikon sesuai standar DIN EN 1706 tetapi terlihat adanya ketidaksesuaian yang cukup besar pada kandungan tembaga (Cu) yang melebihi dari standar yaitu 0,9 padahal seharusnya 0,1 - 0,15. Sedangkan Hasil uji komposisi kimia produk IKM yang menggunakan bahan baku tidak terukur menunjukkan ketidaksesuaian yang signifikan antara komposisi hasil dengan komposisi target yang diinginkan. Jika melihat kandungan Si dan Cu-nya maka kecenderungan produk IKM termasuk kelompok paduan cor AC-4500 atau AlSi₆Cu₄ sesuai standar DIN 1706 tetapi tidak termasuk paduan cor yang dipersyaratkan oleh BKI apalagi dengan kandungan Cu-nya yang terlalu tinggi. Komposisi unsur Cu yang tinggi dapat memperbaiki kekuatan dan kekerasan dalam paduan tetapi akan menurunkan ketahanan korosi, mengakibatkan porositas gas bertambah, *hot tearing*, dan *castability*.

2. Uji Porositas

Densitas pengukuran (*Apparent density*) dihitung menggunakan persamaan. Hasil perhitungan *Apparent density* dengan hasil pengujian hampir tidak ada perbedaan nilainya terlihat pada tabel 6.

Tabel 6. *App Density* hasil uji dan hasil hitung

Produk	m kering (gr)	m basah (gr)	<i>App Density</i> hasil uji	<i>App Density</i>
Formula AlSi12(b)	13,52	8,31	2,60	2,60
IKM	22,47	14,22	2,76	2,72

Selanjutnya dilakukan perhitungan *true density* menggunakan persamaan dengan menggunakan perbandingan persentase masing-masing unsur hasil uji komposisi kimia dengan massa jenis masing-masing unsur sehingga didapatkan hasil yang terlihat pada tabel 7, dimana formula dudukan kampas rem dihasilkan dari perhitungan *true density* sebesar 2,67 gr/cm³ dan produk IKM sebesar 2,81 gr/cm³.

Tabel 7. Hasil perhitungan densitas teoritis/*true density*

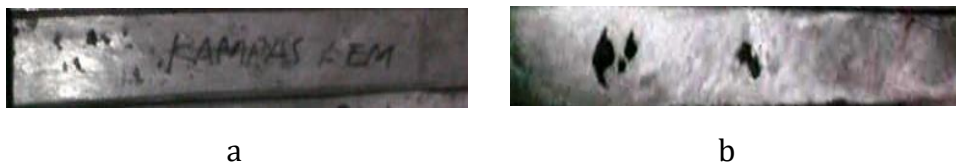
Komposisi kimia (%)	Al	Si	Cu	Fe	Mg	Mn	Ni	Zn	Pb	Sn	Jumlah
% unsur Formula AlSi12(b)	83,72	13,38	0,90	0,63	0,83	0,11	0,03	0,33	0,04	0,03	100,00
% unsur Produk IKM	84,35	7,61	1,83	1,24	0,20	0,20	0,11	4,34	0,12	0,00	100,00
p unsur	2,70	2,35	8,96	7,87	1,74	7,43	8,91	7,14	11,34	0,00	-
(% unsur/p) AlSi12(b)	31,02	5,69	0,10	0,08	0,48	0,01	0,00	0,05	0,00	0,00	37,44
(% unsur/p) IKM	31,25	3,24	0,20	0,16	0,11	0,03	0,01	0,61	0,01	0,00	35,63
Densitas teoritis (gr/cm ³) AlSi12(b)	2,67										
Densitas teoritis (gr/cm ³) IKM	2,81										

Perhitungan porositas dilakukan untuk melihat seberapa besar porositas yang dihasilkan pada pengecoran *sandcasting* dan cetakan logam masing-masing formula dibandingkan dengan produk IKM. Semakin banyak persentase porositas yang dihasilkan semakin buruk material pengecoran yang dibuat karena dapat menurunkan sifat mekanik. Sesuai hasil perhitungan menggunakan rumus pada persamaan didapatkan persentase porositas formula dudukan kampas rem dan produk IKM, seperti terlihat pada tabel 8. Terlihat bahwa persentase porositas produk IKM dengan nilai 2,97% lebih tinggi daripada persentase porositas formula dudukan kampas rem sebesar 2,85%. Hal ini bisa terlihat hasil cor pada saat akan dibuat spesimen ada perbedaan cacat produk yang terjadi terlihat pada gambar 3, lebih besar pada produk IKM.

Tabel 8. Hasil perhitungan persentase *porosity*

Produk	<i>App density</i>	<i>True density</i>	% Porosity
Formula AlSi12(b)	2,60	2,67	2,85
IKM	2,72	2,81	2,97

Pada kondisi cair, aluminium termasuk logam yang mudah menyerap gas hidrogen dari sekelilingnya yaitu udara lembab, minyak, kandungan air dalam tungku, dan lain-lain. Porositas dikenal sebagai cacat coran terjadi karena ketidaksesuaian dalam proses pengecoran. Diawal pembekuan (solidifikasi) logam cair bagian permukaannya kontak dengan cetakan yang relatif dingin, dan solidifikasi terus berlanjut kedalam cairan sehingga membuka *channel* karena perbedaan densitas logam *melt* dan logam *solid*. Pembukaan *channel* terjadi karena adanya perbedaan densitas massa logam *melt* dan logam *solid*. Artinya porositas terjadi karena adanya gelembung gas yang terperangkap dalam proses pemadatan (solidifikasi) paduan. Gas hidrogen yang menyebabkan terjadinya gelembung gas menghasilkan presipitat dimana logam cair mengalami solidifikasi karena perubahan drastis oleh udara bertekanan selama pengisian rongga cetakan dengan kecepatan logam cair tinggi.



Gambar 3. a) Hasil cor AlSi12(B) dari dudukan kampas rem; b) hasil cor produk IKM

Berbeda jika terjadi porositas *shrinkage* disebabkan oleh kekosongan yang terbentuk antara dua dendrit karena efek penyusutan solidifikasi. Porositas *shrinkage* berkembang apabila aliran *interdendritic* logam cair menjadi *block* dan ukuran porositas *shrinkage* tergantung pada laju solidifikasi apabila *dendrit*nya besar maka laju solidifikasinya lambat karena uap air diudara, *crucible*, dan juga kandungan air dalam produk cor akan terurai menjadi H₂ dan O₂, yang selanjutnya H₂ larut dalam logam cair membentuk porositas dan O₂ membentuk lapisan oksida pada logam.

Paduan *eutectic* Al-Si secara umum mempunyai *short-freezing-range* yang menghasilkan permukaan coran yang baik. Tetapi besarnya tembaga dan silikon dapat meningkatkan jumlah porositas dalam pengecoran paduan aluminium. Porositas dan morfologi pori dipengaruhi oleh kompleksitas proses solidifikasi dan unsur paduan sedangkan penambahan silikon dalam paduan Al-Si *hypo-eutectic* akan menambah jumlah porositas yang terbentuk karena fraksi luas daerah eutektik dimana pori terbentuk meningkat. Unsur tembaga mempunyai pengaruh negative terhadap porositas dimana kandungan Cu yang rendah akan mengurangi porositas karena secara signifikan meningkatkan tekanan gas hidrogen yang menyebabkan gas terlarut.

Terlihat pada tabel 9 adanya hubungan persentase unsur dengan persentase komposisi pada produk formula dudukan kampas rem dan produk IKM.

Tabel 9. Korelasi persentase unsur dengan persentase porositas

Produk	Si	Cu	% Porosity
Formula AlSi12(b)	13,38	0,90	2,85
IKM	7,61	1,83	2,97

Jika produk cor mempunyai persentase Cu tinggi mengakibatkan porositas gas bertambah, sejalan dengan menurunnya mampu alir paduan *melt* dengan bertambahnya % Cu sehingga perlu diperhatikan kandungan unsur Cu dalam paduan aluminium cor.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa komposisi kimia formula material AlSi12(B) yang dibuat dari skrap dudukan kampas rem memenuhi standar BKI, yang merujuk pada DIN EN 1706, terutama pada kandungan silikon (Si) dan elemen lainnya, kecuali kandungan tembaga (Cu) yang melebihi batas. Di sisi lain, produk yang dihasilkan oleh IKM menggunakan material seperti AC-4500 atau AlSi6Cu4 sesuai dengan standar DIN 1706, namun tidak memenuhi paduan cor yang dipersyaratkan oleh BKI. Selain itu, hasil pengujian menunjukkan bahwa persentase porositas pada formula dudukan kampas rem adalah 2,85%, sedikit lebih rendah dibandingkan dengan produk IKM yang memiliki porositas sebesar 2,97%.

DAFTAR PUSTAKA

- Arie Hendarto, 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.
- ASM Metal Handbook Volume 15, 1998, Casting
- ASTM C-640, "Standard Test Method for Specific Gravity, Absorption and Void in Hardened Concrete"
- ASTM E 1251-04, "Standard Test Method for Analysis of Aluminum and Aluminum Alloys by Atomic Emission Spectrometry"
- Biro Klasifikasi Indonesia (BKI), 2006, Rules for the classification and construction of seagoing steel ships, volume V section 10.
- DIN EN 1706, Juni 2008, Aluminium and aluminium alloys–Castings: Chemical composition and mechanical properties.
- 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.
- 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.

- John Campbell's. "Ten Rules for Making Reliable Castings", Journal of Metals, 2005.
- 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.
- M.A. Talamantes-Silva., A.Radrigues., J. Talamantes-Silva., S.Valtierra, Rafael Colas, "Characterization of an Al-Cu Alloy Material Characterization 59" Elsevier, 2008.
- 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.
- Prof. Ir. Tata Surdia MS., 2000, Teknik Pengecoran Logam, Pradnya Paramita, Jakarta.
- R. Widodo, April 2012, Teknik Pengelolaan Bahan Baku Peleburan Aluminium, Jurnal Foundry Vol. 2 No. 1, ISSN : 2087-225.
- Reza Septian, "Porositas Penyusutan Paduan Duralumin Pada Pengecoran Sistem Vakum", Skripsi Fakultas Teknik, Departemen Teknik Metalurgi dan Material, Universitas Indonesia, Juni 2011.
- 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.
- Soejono Tjitro, Lily Setyati Hartanto, "Pengaruh Modulus Cor Riser Terhadap Cacat Penyusutan Pada Produk Paduan Al-Si", Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Kristen Petra, <http://puslit.petra.ac.id/journals/mechanical/>, download Maret 2013.
- Subodh K. Dash, June 2006, Designing Aluminum Alloys for a Recycle-Friendly World, Journal of Light Metal Age.
- Suhariyanto, 2002, Perbaikan Sifat Mekanik Paduan Aluminium (A356.0) dengan Menambahkan TiC.
- T Deasy, DH Gunawan, 2014, Pembuatan Bahan Standar AlSi12(B) dari skrap aluminium; Study komposisi kimia, porositas dan kekerasan bahan, Prosiding SNATIF-KUDUS, vol. 1
- T. Deasy, 2014, Pembuatan Komponen Kapal Berbahan Paduan Cor AlSi12(B) Dari Skrap Aluminium, Tesis Magister Teknik Mesin, Universitas Diponegoro, Semarang.
- T. Lipiński, 2008, Influence exothermal mixtures contents Na or B on elongation and hardness AlSi12 alloy, Archives of Foundry Engineering (AFE), ISSN (1897-3310) Volume 8 Issue 1.
- T.Deasy, 2019, Analisis Komposisi Kimia Dan Kekerasan Material Standar AlSi12(B) Dari Skrap Aluminium Yang Berbeda", Jurnal Engineering Universitas Pancasakti Tegal, volume 10 Nomor 2, pp 53-62.
- TV. Rajan, C.P. Sharma dan Ashok Sharma, "Heat Treatment, Principle and Techniques", Prentice Hall of India Private Limited, New Delhi, 7th printing, July 1997.
- W. Khraisata, and W. Abu Jadayil, 2010, Strengthening Aluminum Scrap by Alloying with Iron, JJMIE Volume 4 Number 3, June.
- Y. Xiao, M.A. Reuter, Juli 2002, Recycling of distributed aluminium turning scrap, Science Direct, Elsevier, Mineral Engineering 15 (2000) 963-970.