

Analisis Cacat Pengecoran, Kekuatan Tarik, dan Kekerasan Logam Paduan AlSi Hasil Pengecoran Metode *Sand Casting* dengan Variasi Pengikat Lempung Lokal Bangkalan

Imam Muhtarom*, Dwi Rahdiyanta

Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta
 Jl. Colombo Yogyakarta No.1, Karang Malang, Caturtunggal, Kec. Depok, Kabupaten Sleman,
 Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia 55281

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis cacat pengecoran, kekuatan tarik, dan kekerasan logam paduan AlSi hasil pengecoran metode sand casting dengan pengikat lempung lokal Bangkalan. Penelitian ini merupakan jenis penelitian eksperimental dengan menggunakan metode one-shot case study di mana sekelompok sampel diberi sebuah perlakuan selanjutnya hasil penelitian dianalisis dan dijabarkan secara deskriptif. Penelitian ini menggunakan tiga variabel bebas berupa pengikat lempung lokal Bangkalan dengan variasi persentase 6%, 9%, 12% dan tiga variabel terikat berupa cacat pengecoran, kekuatan tarik, dan kekerasan logam. Berdasarkan hasil penelitian diketahui cacat pengecoran terendah terdapat pada permukaan logam AlSi dengan variasi persentase pengikat 12% dengan jumlah 76 cacat lubang dan 80 cacat struktur butir. Sedangkan nilai kekuatan tarik tertinggi terdapat pada logam AlSi dengan variasi pengikat 12% dengan nilai sebesar 11,188 kgf/mm². Adapun nilai kekerasan tertinggi juga terdapat pada logam AlSi dengan variasi pengikat 12% dengan nilai sebesar 131,9 HV. Kesimpulan penelitian ini adalah penggunaan pengikat lempung lokal Bangkalan sejumlah 12% merupakan variasi pengikat cetakan pasir terbaik dibandingkan variasi pengikat 6% dan 9%.

Kata kunci: pengecoran logam; AlSi; lempung lokal Bangkalan; cacat pengecoran; kekerasan; kekuatan tarik

Abstract

[**Title: Analysis of Casting Defects, Tensile Strength, and Hardness of AlSi Alloy Castings from Sand Casting Method with Bangkalan Local Clay Binder Variations.**] This study aims to determine the casting defects, tensile strength, and hardness of the AlSi alloy obtained in the Sand Casting method with Bangkalan local clay as a binder. This experimental research uses the one-shot case study method in which a group of samples is given treatment. Furthermore, the research results were analyzed and described descriptively. This study uses three independent variables and three dependent variables. The independent variable is the local Bangkalan clay binder with varying percentages of 6%, 9%, and 12%, while the dependent variable is casting defects, tensile strength, and metal hardness. The research results show that the lowest casting defects are obtained on the AlSi metal surface, with a variation in the percentage of the binder of 12% with a total of 76 hole defects and 80-grain structure defects. At the same time, the highest tensile strength value is obtained in AlSi metal with a binder variation of 12% with a value of 11.188 kgf/mm². The highest hardness value is also obtained in AlSi metal, with a binder variation of 12% with a value of 131.9 HV. This study concludes that using local Bangkalan clay binder in 12% is the best sand mold binder variation compared to 6% and 9% binder variations.

Keywords: metal casting; AlSi; Bangkalan local clay; casting defects; hardness; tensile strength

*) Penulis Korespondensi.

E-mail: imammuhtarom.2020@student.uny.ac.id

1. Pendahuluan

Pengecoran logam mengenal dua jenis cetakan yang umum digunakan, yakni cetakan permanen dan

cetakan sekali pakai. Cetakan permanen adalah cetakan yang dapat digunakan berkali-kali. Umumnya cetakan permanen terbuat dari bahan baja yang memiliki titik lebur lebih tinggi dari logam yang dicairkan, sedangkan cetakan sekali pakai adalah cetakan yang hanya bisa digunakan sekali saja. Cetakan sekali pakai, umumnya menggunakan metode *sand casting* atau teknik pengecoran dengan cetakan pasir. Shahria et al. (2017) mengatakan lebih dari 70% industri manufaktur menggunakan cetakan pasir dalam proses pengecoran logam. Surdia (2006: 93) menyebutkan keunggulan cetakan pasir yakni: (1) mampu mencetak logam dengan titik lebur tinggi (nikel, baja, titanium, dan sejenisnya), (2) mampu mencetak logam dengan ukuran yang bervariasi, dan (3) mampu memproduksi benda secara satuan hingga massal. Hal-hal yang paling berpengaruh terhadap kualitas hasil pengecoran diantaranya adalah jenis pasir dan jenis bahan pengikat.

Bahan pengikat mempunyai fungsi untuk mengikat pasir cetak sehingga mempermudah pembuatan cetakan yang kuat dan memiliki permeabilitas yang baik. Bentonit merupakan jenis bahan pengikat yang paling banyak digunakan dalam pengecoran logam. Selain bentonit, masih banyak jenis bahan pengikat lain yang dapat dimanfaatkan dan cocok untuk jenis pengecoran logam tertentu, misalnya semen portland, tanah liat, dan *fly ash*. Tidak menutup kemungkinan akan ditemukan jenis bahan pengikat lain yang belum diketahui publik.

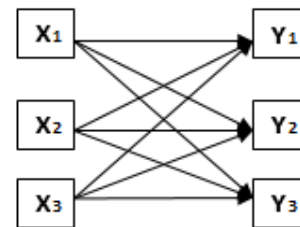
Limestone termasuk golongan batuan sedimen (batuan endapan) yang mengandung kalsium dalam bentuk $CaCO_3$ atau kalsium karbonat (Ayu et al., 2015). Karakteristik dari serbuk tersebut diketahui sangat mirip dengan bahan pengikat layaknya lempung. Dalam penelitian sebelumnya Saputra (2018), menyatakan semakin banyak persentase pengikat lempung lokal Bangkalan maka nilai permeabilitas pasir semakin baik. Kabupaten Bangkalan menjadi daerah penghasil batu kapur unggulan di Indonesia. Lokasi pertambangan yang masih beroperasi hingga saat ini adalah tambang kapur di Bukit Jaddih. Batu gamping atau *limestone* merupakan batu kapur yang menjadi salah satu bahan

dalam bangunan. Kandungan lempung lokal Bangkalan yang diambil dari kawasan tambang Bukit Jaddih Kabupaten Bangkalan Jawa Timur dapat dilihat pada Tabel 1.

Logam AISi hasil pengecoran dengan variasi persentase lempung lokal Bangkalan sebagai pengikat cetakan pasir dianalisis berdasarkan cacat pengecoran, kekuatan tarik, dan kekerasan logam. Pemilihan variasi persentase 6%, 9%, dan 12% merujuk pada penelitian Syaifullah et al. (2018), yang menggunakan variasi persentase pengikat lempung lokal Bangkalan, bentonit, dan *fly ash* sebesar 9%. Logam AISi hasil pengecoran dengan variasi persentase pengikat lempung lokal Bangkalan memiliki cacat pengecoran paling sedikit, kekuatan tarik paling tinggi, dan kekerasan paling tinggi dibandingkan dengan bahan pengikat bentonit dan *fly ash* pada persentase pengikat yang sama. Oleh sebab itu, peneliti memilih variasi persentase pengikat lempung lokal Bangkalan sebesar 6%, 9%, dan 12% untuk menganalisis logam AISi hasil pengecoran ditinjau dari jumlah cacat pengecoran, kekuatan tarik, dan kekerasan logam yang dihasilkan melalui proses *sand casting*. Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan variasi persentase lempung lokal Bangkalan terbaik sebagai pengikat cetakan pasir pada proses pengecoran logam.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini termasuk dalam rancangan penelitian eksperimental. Sugiyono, (2019: 72) menjelaskan penelitian eksperimental diartikan sebagai metode penelitian yang digunakan untuk mencari pengaruh perlakuan tertentu terhadap yang lain dalam kondisi yang terkendali. Adapun metode yang digunakan adalah *one-shot case study*, di mana sekelompok sampel diberi sebuah perlakuan (*treatment*) dan diobservasi hasilnya. *Treatment* dalam penelitian ini merupakan variabel independen (bebas) dan hasil penelitian sebagai variabel dependen (terikat). Apabila digambarkan ke dalam garis hubungan (bagan), maka model *One-Shot Case Study* akan tampak seperti



Gambar 1. Bagan desain penelitian yang digunakan
 Keterangan: X1 = Lempung lokal Bangkalan 6%, Bentonit 0,5%, Y1 = Cacat pengecoran, X2 = Lempung lokal Bangkalan 9% Bentonit 0,5%, Y2 = Kekuatan Tarik, X3 = Lempung lokal Bangkalan 12% Bentonit 0,5%, Y3 = Kekerasan

Tabel 1. Hasil pengujian X-Ray Fluoresence (XRF) lempung lokal Bangkalan

No.	Compound	Concentration (%)
1	Mg	6.0
2	Ca	92.81
3	Fe	0.24
4	Cu	0.070
5	Sr	0.27
6	Yb	0.56

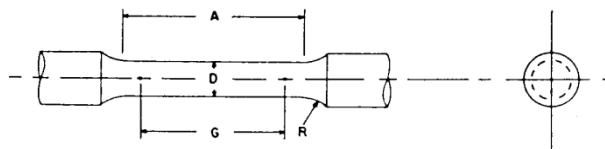
Sumber: Lab. Mineral dan Material Maju Universitas Negeri Malang

Gambar 1.

Variabel bebas terdiri dari variasi persentase pengikat lempung lokal Bangkalan sebanyak 6%, 9%, dan 12% sedangkan variabel terikat terdiri dari cacat pengecoran, kekuatan tarik, dan kekerasan logam. Adapun variabel kontrol dalam penelitian ini adalah cetakan pasir basah dengan kadar campuran sebanyak air 5%, campuran bentonit sebanyak 0,5%, dan Alumunium Silikon (AlSi) yang digunakan berasal dari piston bekas. Penelitian ini menggunakan tiga jenis perlakuan: (1) membuat logam AlSi hasil pengecoran cetakan pasir dengan variasi campuran pasir silika 88,5%, air 5%, lempung lokal Bangkalan 6%, dan bentonit 0,5%; (2) membuat logam AlSi hasil pengecoran cetakan pasir dengan variasi campuran pasir silika 85,5%, air 5%, lempung lokal Bangkalan 9%, dan bentonit 0,5%; (3) membuat logam AlSi hasil pengecoran cetakan pasir dengan variasi campuran pasir silika 82,5%, air 5%, lempung lokal Bangkalan 12%, dan bentonit 0,5%.

Tiga jenis logam AlSi hasil pengecoran tersebut selanjutnya disiapkan menjadi spesimen uji cacat pengecoran, spesimen uji kekuatan tarik, dan spesimen uji kekerasan logam. Pengujian cacat pengecoran dihasilkan melalui foto mikro dan foto makro. Pengujian foto mikro diambil menggunakan mikroskop dengan perbesaran 200x terhadap potongan spesimen yang telah diampelas menggunakan mess 5000 lalu dietsa selama 30 detik. Hasil foto mikro disajikan dalam bentuk metalografi untuk memperoleh keterangan mengenai proses pembentukan logam dan sifat-sifat yang dimiliki. Pengujian foto makro menggunakan kamera DSLR untuk menganalisis setiap patahan dan cacat permukaan dari spesimen yang ditampilkan dalam sebuah foto. Tujuan dari analisis patahan ini adalah untuk melihat sifat dari logam pada masing-masing variasi. Adapun tujuan analisis permukaan hasil pengecoran adalah untuk mendapatkan macam-macam cacat pengecoran yang terjadi beserta penyebabnya. Melalui analisis tersebut diharapkan dapat diketahui cara pencegahan dari setiap cacat logam yang ditemukan.

Pengujian kekuatan tarik bertujuan untuk mengetahui sifat-sifat mekanis AlSi sebagai material uji. Pengujian ini dilakukan dengan membentuk logam AlSi hasil pengecoran menjadi spesimen uji tarik sesuai standar pengujian tarik ASTM A 370 lalu diuji dengan



Gambar 2. Pola standar pengujian tarik ASTM A 370
Sumber: (ASTM, 2008: 5).

mesin uji tarik. Hasil pengujian dikatakan valid apabila letak patahan berada pada rentang garis simbol G seperti yang tampak pada Gambar 2.

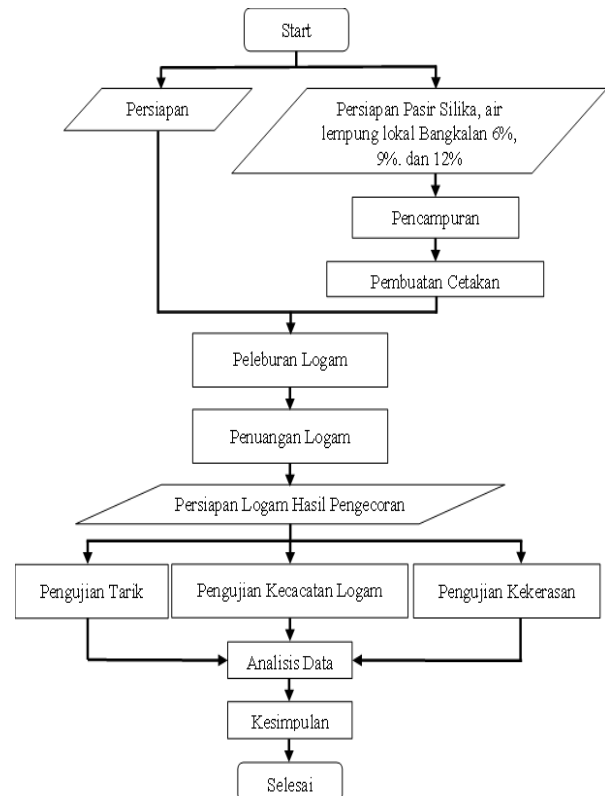
Pengujian kekerasan dilakukan dengan metode pengujian *microvickers*. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kekerasan spesimen logam pengecoran menggunakan mesin *Microvickers Hardness Tester* dengan satuan kekerasan *HV (Hardness Vickers)*. Penetrasi indentor piramida intan dilakukan dengan gaya 200-gram dan *dwell* selama 10 detik. Spesimen uji kekerasan menggunakan potongan logam yang telah diampelas dengan kertas amplas ukuran mess 5000 hingga diperoleh permukaan yang halus secara kasat mata. Pengujian dilakukan di tiga titik berbeda pada permukaan setiap spesimen. Adapun diagram alur penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.

3. Hasil Penelitian

Data hasil penelitian disajikan berupa foto spesimen dan angka yang selanjutnya dipaparkan sesuai dengan analisa foto mikro dan foto makro, data pengujian tarik, data pengujian kekerasan logam paduan AlSi hasil perlakuan variasi persentase bahan pengikat lempung lokal Bangkalan.

3.1 Uji Foto Mikro

Hasil foto mikro spesimen pengecoran logam



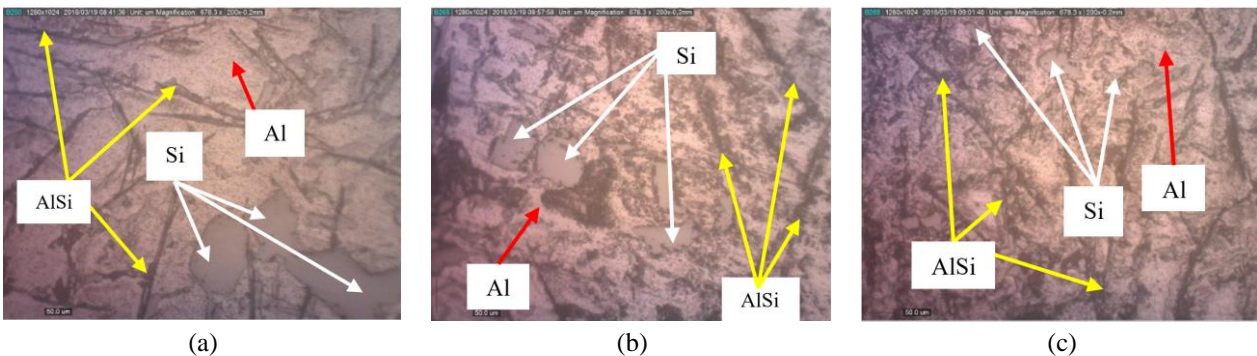
Gambar 3. Diagram alur pelaksanaan penelitian

AlSi dengan variasi persentase pengikat lempung lokal Bangkalan 6%, 9%, dan 12% dengan tambahan bentonit 0,5% dapat dilihat pada Gambar 4. Gambar 4a menunjukkan foto mikro AlSi hasil pengecoran dengan variasi pengikat 6% lempung lokal Bangkalan dan 0,5% Bentonit memperlihatkan bahwa persebaran butir tidak beraturan dan berukuran acak. Terlihat bahwa unsur silikon (Si) yang menggumpal berukuran besar berwarna abu-abu tersebar secara acak. Adapun bagian yang berbentuk jarum merupakan presipitasi AlSi dengan persebaran acak namun masih renggang. Gambar tersebut juga menunjukkan bahwa spesimen didominasi oleh matrik Al (fasa α) dengan warna terang, serta terdapat cacat porositas dengan ukuran yang cukup besar. Porositas merupakan kecacatan pada suatu produk pengecoran yang menyebabkan menurunnya kualitas benda pengecoran. Hal ini disebabkan oleh adanya kandungan gas hidrogen yang terperangkap di dalam cairan tuang. Hidrogen yang terperangkap akan memiliki efek yang merugikan dalam komponen cetakan, karena telah diidentifikasi untuk berkontribusi pada pembentukan dan pertumbuhan cacat seperti penyusutan dan porositas gas (Perna, 2017: 25). Cacat porositas dapat terjadi karena gas hidrogen menjadi satu-satunya gas yang larut dalam jumlah signifikan dalam pengecoran aluminium (Sudibyo, 2013:55). Gas hidrogen dapat terbentuk dari reaksi logam dengan uap air atau kelembapan yang tersisa di dalam cetakan pasir.

Gambar 4b menunjukkan foto mikro AlSi hasil pengecoran dengan variasi pengikat 9% lempung lokal Bangkalan dan 0,5% Bentonit menunjukkan bahwa persebaran butir lebih menyebar. Gambar tersebut juga memperlihatkan ukuran jarum AlSi membesar/meluas. Terdapat bercak hitam, yang merupakan hasil presipitasi paduan AlSi yang tersebar secara acak merata pada permukaan. Unsur silikon (Si) eutektik tampak mengecil dan menyebar jika dibandingkan dengan persentase pengikat lempung Bangkalan 6% dan bentonit 0,5%. Hal ini menandakan proses solidifikasi lebih cepat. Pada

variasi ini tampak permukaan aluminium proeutektik semakin menyempit dan terenuhi oleh paduan AlSi dan silikon. Variasi ini juga masih didominasi oleh matrik Al (fasa α) yang berwarna terang. Selain itu, masih tampak cacat porositas yang ditandai dengan warna hitam gelap tak beraturan namun dengan penyebaran yang tidak beraturan. Menurut Tiedje, Taylor, & Easton (2013), kondisi pendinginan mempengaruhi lokasi dan mempengaruhi distribusi porositas. Keadaan logam yang seperti ini menyebabkan logam cor memiliki kekuatan yang tinggi namun keuletan yang rendah.

Gambar 4c menunjukkan foto mikro AlSi hasil pengecoran dengan variasi pengikat 12% lempung lokal Bangkalan dan 0,5% Bentonit menunjukkan bahwa ukuran butir yang semakin kecil, rapat, dan batas butir semakin jelas. Dapat diamati persebaran silikon (Si) semakin banyak dengan ukuran yang relatif lebih kecil. Persebaran butir juga tampak lebih merata dibandingkan logam hasil variasi sebelumnya, sedangkan paduan AlSi tampak semakin jelas ditandai dengan bentuk jarum berwarna hitam yang melebar. Adapun bercak hitam (presipitasi paduan AlSi) hampir menutupi permukaan aluminium proeutektid. Spesimen dengan struktur butiran kecil dan rapat memiliki kekuatan dan keuletan yang lebih tinggi. Oleh sebab itu, perbaikan bentuk butir logam dilakukan agar ketahanan retak panas atau *hot tear* meningkat, efek negatif dari gas penyebab porositas berkurang, dan pengerutan porositas di dalam paduan logam aluminium dapat didistribusi. Ukuran butir logam pada paduan pengecoran dipengaruhi oleh jumlah persentase nuklei dalam larutan logam ketika mulai membeku. Pendinginan cepat umumnya membuat ukuran butir menjadi kecil (Budiyono, dkk. 2012). Selain itu, pada variasi ini juga masih didominasi oleh matrik Al (fasa α) yang berwarna terang namun dengan luas permukaan yang lebih sedikit dibandingkan dengan dua variasi sebelumnya. Menurut Zamani, (2015: 53) struktur mikro pada paduan cor aluminium silikon terdiri dari matriks



Gambar 4. (a) AlSi hasil pengecoran dengan variasi pengikat 6% lempung lokal Bangkalan dan 0,5% Bentonit, (b) AlSi hasil pengecoran dengan variasi pengikat 9% lempung lokal Bangkalan dan 0,5% Bentonit, (c) AlSi hasil pengecoran dengan variasi pengikat 12% lempung lokal Bangkalan dan 0,5% Bentonit

α -Al sebagai partikel utama yang dilengkapi dengan partikel eutektik Si. Fasa eutektik pada paduan AlSi merupakan tipe eutektik sederhana yang mempunyai titik eutektik pada suhu 577°C. Adanya fasa eutektik yang terbentuk pada paduan ini dapat memperbaiki sifat mekanis paduan.

3.2 Uji Foto Makro

3.2.1 Foto makro patahan logam AlSi hasil pengecoran dengan variasi persentase pengikat lempung lokal Bangkalan.

Analisis patahan logam paduan AlSi dengan variasi persentase bahan pengikat lempung lokal Bangkalan 6% (Gambar 5a), 9% (Gambar 5b), dan 12% (Gambar 5c) dengan tambahan bentonit pada masing-masing variasi persentase sebesar 0,5% menunjukkan jenis patahan granular/getas. Gambar 5a menunjukkan material patahan AlSi hasil pengecoran dengan variasi persentase pengikat lempung lokal Bangkalan 6% dan bentonit 0,5% tampak patah getas. Hal ini dibuktikan dengan adanya patahan yang memantulkan cahaya tinggi dan bentuk permukaan patahan yang tidak rata, sedangkan butir logam tampak halus. Gambar 5b menunjukkan material patahan AlSi hasil pengecoran dengan variasi persentase pengikat lempung lokal Bangkalan 9% dan bentonit 0,5% tampak patah lebih getas dari sebelumnya. Hal ini dibuktikan dengan adanya patahan yang memantulkan cahaya tinggi dan

bentuk permukaan patahan yang lebih datar dari variasi sebelumnya dan butir logam juga tampak halus. Gambar 5c menunjukkan material patahan AlSi hasil pengecoran dengan variasi persentase pengikat lempung lokal Bangkalan 12% dan bentonit 0,5% juga tampak getas namun lekukan patahan tidak sedatar variasi sebelumnya. Hal ini juga dibuktikan dengan adanya patahan yang memantulkan cahaya tinggi, bentuk permukaan patahan yang lebih datar dari variasi sebelumnya, dan butir logam juga tampak halus seperti variasi sebelumnya.

Berdasarkan hasil patahan yang tampak pada Gambar 5 dapat disimpulkan bahwa keseluruhan logam AlSi hasil pengecoran dengan variasi pengikat cetakan pasir lempung lokal Bangkalan memiliki jenis patahan getas. Patahan getas dapat terjadi karena jenis logam yang digunakan merupakan aluminium silikon. Hal ini juga dibenarkan oleh Sari et al. (2016) yang menyebutkan bahwa aluminium silikon mengindikasikan aluminium jenis getas, karena hasil patahan spesimen uji tarik berwarna mengkilat dan bekas patahan yang cenderung merata. Selain itu, nilai patahan getas juga dapat dipengaruhi oleh nilai kekerasan logam suatu logam. Artinya, nilai kekerasan logam yang semakin besar akan membuat sifat logam menjadi semakin getas (Yohanes dan Djamil, 2008). Patahan getas biasanya ditandai dengan permukaan yang



Gambar 5. (a) Foto makro patahan AlSi hasil pengecoran dengan variasi pengikat lempung lokal Bangkalan 6% dan bentonit 0,5%, (b) Foto makro patahan AlSi hasil pengecoran dengan variasi pengikat lempung lokal Bangkalan 9% dan bentonit 0,5%, (c) Foto makro patahan AlSi hasil pengecoran dengan variasi pengikat lempung lokal Bangkalan 12% dan bentonit 0,5% (Dokumentasi Peneliti)

mengkilap apabila terpapar cahaya ketika pengamatan dengan mata secara langsung. Merujuk pada pemaparan Ismail (2012) perpatahan getas atau granular dapat ditandai oleh permukaan patahan yang dapat memantulkan cahaya terang (mengkilat), umumnya permukaan patahan berbentuk datar atau tegak lurus terhadap sisi permukaan lainnya, ditemukan sedikit deformasi plastis atau bahkan hampir tidak ditemukan, dan material bersifat keras dengan butir logam yang halus.

3.3.2 Foto makro permukaan logam AISi hasil pengecoran dengan variasi persentase pengikat lempung lokal Bangkalan




Tabel 2 memperlihatkan data bahwa cacat lubang jarum terbanyak dimiliki oleh spesimen hasil pengecoran logam paduan AISi dengan variasi pengikat lempung lokal Bangkalan 6%, yaitu 149 cacat. Cacat lubang jarum paling sedikit dimiliki oleh spesimen hasil pengecoran logam paduan AISi dengan variasi pengikat lempung lokal Bangkalan 12% yaitu berjumlah 76 cacat. Spesimen hasil pengecoran logam paduan AISi dengan variasi pengikat lempung lokal Bangkalan 9% berjumlah 115 cacat.

Apabila dilihat dari cacat struktur butir terbuka,

cacat terbanyak dimiliki oleh spesimen hasil pengecoran logam paduan AISi dengan variasi pengikat lempung lokal Bangkalan 6%, yaitu 92 cacat. Cacat struktur butir terbuka yang paling sedikit dimiliki oleh spesimen hasil pengecoran logam paduan AISi dengan variasi pengikat lempung lokal Bangkalan 9%, yaitu berjumlah 44 cacat. Spesimen hasil pengecoran logam paduan AISi dengan variasi pengikat lempung lokal Bangkalan 6% berjumlah 80.

Penyebab terjadinya lubang jarum yang paling mungkin adalah: (a) logam cair membawa gas; (b) cetakan masih basah atau kurang kering; (c) banyak gas yang muncul dari cetakan; (d) permeabilitas yang kurang baik; dan (e) logam cair membawa gas. Keadaan tersebut dipengaruhi oleh sifat aluminium dan silikon yang mudah menyerap gas terutama hidrogen sehingga memberi kesempatan untuk terbentuknya lubang jarum. Seperti yang dipaparkan Suprpto (2011: 19) yang menyatakan bahwa aluminium pada kondisi cair mudah menyerap gas hidrogen dari sekelilingnya. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa cetakan pasir yang tidak terlalu kering akan menimbulkan gas ketika logam cair dituang sehingga gas yang terbentuk akan terserap oleh paduan AISi. Kondisi tersebut dapat dikurangi jika

Tabel 2. Hasil analisa uji foto makro permukaan logam AISi hasil pengecoran dengan variasi persentase pengikat lempung lokal Bangkalan menggunakan kamera DSLR Canon EOS 600D

Jenis	Spesimen		
	Lempung Lokal Bangkalan 6% + Bentonit 0,5%	Lempung Lokal Bangkalan 9% + Bentonit 0,5%	Lempung Lokal Bangkalan 12% + Bentonit 0,5%
Foto			
Jumlah Cacat	Blok 1: 33 Blok 2: 27	Blok 1: 27 Blok 2: 21	Blok 1: 10 Blok 2: 21
Lubang Jarum	Blok 3: 31 Blok 4: 26 Blok 5: 32 Total: 149	Blok 3: 21 Blok 4: 28 Blok 5: 18 Total: 115	Blok 3: 12 Blok 4: 12 Blok 5: 21 Total: 76
Jumlah Cacat Struktur Butir Terbuka	Blok 1: 18 Blok 2: 22 Blok 3: 20 Blok 4: 17 Blok 5: 15 Total: 92	Blok 1: 5 Blok 2: 9 Blok 3: 14 Blok 4: 7 Blok 5: 9 Total: 44	Blok 1: 23 Blok 2: 13 Blok 3: 15 Blok 4: 13 Blok 5: 16 Total: 80

permeabilitas pasir baik. Selain itu, cara pencegahan munculnya gas hidrogen ketika proses pengecoran adalah dengan pemberian inokulan ke dalam cairan logam (Suharnadi dan Santoso, 2016). Inokulan berperan untuk memperbesar jumlah inti pembekuan. Jumlah inti pembekuan ini yang akan meningkatkan jumlah grafit eutektik dan mengurangi “*under cooling*”. Peningkatan jumlah inti pembekuan juga akan menurunkan kecenderungan terbentuknya ledeburit atau struktur pembekuan putih. Pemberian bahan inokulan terbukti dapat menghasilkan struktur mikro yang baik (Soedihono, 2012).

3.3 Uji Kekuatan Tarik

Pengujian kekuatan tarik dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat mekanis material AlSi dalam penelitian ini. Data diperoleh melalui tiga kelompok pengujian yaitu (1) spesimen hasil pengecoran AlSi dengan persentase pengikat cetakan pasir 6% lempung lokal Bangkalan dan 0,5% bentonit, (2) spesimen hasil pengecoran AlSi dengan persentase pengikat cetakan pasir 9% lempung lokal Bangkalan dan 0,5% bentonit, dan (3) spesimen hasil pengecoran AlSi dengan persentase pengikat cetakan pasir 12% lempung lokal Bangkalan dan 0,5% bentonit. Data hasil pengujian kekuatan tarik dari masing-masing sampel spesimen dapat diamati pada Tabel 3.

Pada keterangan Tabel 3, spesimen dikatakan valid apabila saat pengujian tarik hasil patahan tidak patah di luar *gauge length*. Nilai pengujian rata-rata diperoleh dari hasil pengolahan data valid saja. Adapun diagram hasil pengujian kekuatan tarik dapat dilihat pada Gambar 6.

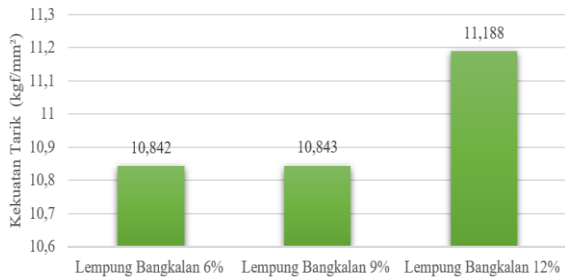
Berdasarkan diagram pada Gambar 6 diketahui bahwa nilai kekuatan tarik rata-rata logam AlSi hasil pengecoran terendah terdapat pada variasi persentase

lempung lokal Bangkalan 6%, sedangkan kekuatan tarik tertinggi terdapat pada variasi persentase lempung lokal Bangkalan 12%. Variasi persentase lempung lokal Bangkalan 9% memiliki kekuatan tarik yang hampir sama dengan variasi persentase lempung Bangkalan 6% dengan selisih 0,001 kgf/mm². Selisih yang sangat kecil tersebut bisa terjadi karena pada salah satu spesimen variasi persentase lempung lokal Bangkalan 6% terdapat data yang tidak valid. Hal ini disebabkan karena letak patahan spesimen uji tarik tidak berada pada *gauge length*. *Gauge length* merupakan daerah dimana elongasi diukur selama pengujian (ISO, 2019: 1). Bentuk patahan spesimen tidak valid dapat dilihat secara jelas pada Gambar 7.

Data tidak valid yang berasal dari spesimen pada Gambar 7 menyebabkan pengambilan rata-rata nilai kekuatan tarik hanya berasal dari dua spesimen valid saja. Meskipun nilai kekuatan tarik variasi persentase lempung lokal Bangkalan 6% dan 9% hanya berselisih 0,001 kgf/mm², perbedaan nilai kekuatan tarik tersebut cukup membuktikan bahwa penggunaan jenis variasi pengikat lempung Bangkalan dan bentonit 0,5% berpengaruh terhadap tingkat kekuatan tarik paduan AlSi. Nilai tersebut sangat linier dengan foto penampang permukaan setiap variasi persentase lempung Bangkalan pada Gambar 5a di mana pada variasi lempung lokal Bangkalan 6% dan bentonit 0,5 % memiliki kekuatan tarik rata-rata terendah. Hal ini disebabkan oleh persebaran eutektik Si yang sedikit dan didominasi oleh matrik aluminium. Dari foto tersebut juga dapat diamati bahwa proses solidifikasi berjalan lambat. Begitu pula pada variasi lempung Bangkalan 9% dan bentonit 0,5 % memiliki kekuatan tarik sedang, yakni di atas variasi lempung Bangkalan 6% dan di bawah variasi lempung Bangkalan 12 %. Hal ini dipengaruhi oleh persebaran

Tabel 3. Hasil uji tarik logam pengecoran AlSi dengan variasi perlakuan Persentase pengikat cetakan pasir

Jenis	Data Pengujian			Ket.
	Regangan (%)	Kekuatan Tarik (kg/mm ²)	Tegangan Luluh (kg/mm ²)	
6% lempung lokal Bangkalan dan 0,5% bentonit	2,326	11,505	11,444	Tdk Valid
	0,519	10,240	10,403	Valid
	0,759	11,444	11,262	Valid
<i>Rata-rata</i>	<i>0,639</i>	<i>10,842</i>	<i>10,832</i>	
9% lempung lokal Bangkalan dan 0,5% bentonit	1,339	10,622	10,908	Valid
	0,602	11,147	10,908	Valid
	0,360	10,761	10,702	Valid
<i>Rata-rata</i>	<i>0,767</i>	<i>10,843</i>	<i>10,839</i>	
2% lempung lokal Bangkalan dan 0,5% bentonit	0,792	10,996	11,341	Valid
	0,919	11,381	11,290	Valid
	0,982	11,527	11,402	Tidak Valid
<i>Rata-rata</i>	<i>0,898</i>	<i>11,188</i>	<i>11,315</i>	



Gambar 6. Diagram batang nilai kekuatan tarik rata-rata AlSi hasil pengecoran

presipitat AlSi yang mulai menyebar tidak beraturan. Selain itu, unsur Si tampak semakin mengecil. Hasil yang terlihat pada foto tersebut juga memperlihatkan bahwa proses solidifikasi mulai cepat. Sedangkan pada variasi lempung Bangkalan 12% memiliki kekuatan tarik tertinggi di antara kedua variasi sebelumnya. Hal ini disebabkan oleh persebaran presipitat AlSi yang menyebar tidak beraturan ke seluruh permukaan. Dalam foto juga tampak matrik aluminium semakin sempit. Peningkatan sifat tarik disebabkan oleh adanya fase keras pada matriks aluminium. Dengan kata lain, pada variasi ini menandakan proses solidifikasi berjalan lebih cepat daripada dua variasi sebelumnya.

Hasil nilai uji kekuatan tarik juga dipengaruhi oleh temperatur dan tekanan tinggi pada cetakan. Cetakan bertemperatur tinggi dan logam cair bertekanan tinggi pada proses penuangan akan berpengaruh terhadap cepat lambatnya cetakan menyerap temperatur logam cair. Menurut Zhang (2016) tingkat pendinginan yang lebih rendah mengurangi kekuatan tarik dan kekuatan luluh karena adanya penurunan endapan halus. Tegangan tarik meningkat seiring meningkatnya laju pemanasan (Chang, Hung and Lui, 2017). Dari pendapat tersebut dapat disimpulkan jika desain cetakan yang baik mempengaruhi hasil pengecoran.

3.4 Uji Kekerasan Microvickers

Pengujian kekerasan *vickers* dilakukan pada logam paduan AlSi dengan variasi: (1) persentase pengikat cetakan pasir 6% lempung lokal Bangkalan dan 0,5% bentonit, (2) persentase pengikat cetakan pasir 9% lempung lokal Bangkalan dan 0,5% bentonit, dan (3)



Gambar 7. Patahan tidak valid AlSi hasil pengecoran dengan variasi persentase pengikat lempung lokal Bangkalan 6% dan bentonit 0,5%.

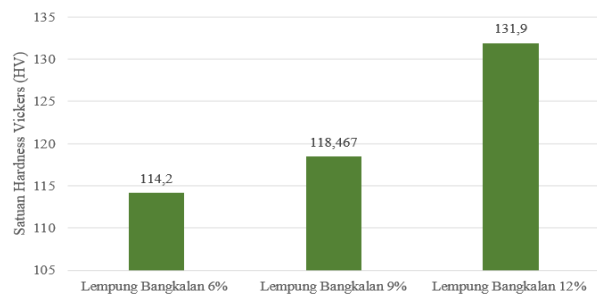
persentase pengikat cetakan pasir 12% lempung lokal Bangkalan dan 0,5% bentonit. Hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 memperlihatkan data hasil rata-rata pengujian kekerasan *vickers* pada spesimen pengecoran paduan AlSi dengan variasi persentase pengikat cetakan pasir lempung lokal Bangkalan 6% dan bentonit 0,5%, yakni 114,2 HV. Hasil rata-rata pengujian kekerasan *vickers* pada spesimen pengecoran paduan AlSi dengan variasi persentase pengikat cetakan pasir lempung lokal Bangkalan 9% dan bentonit 0,5% adalah 118,47 HV. Adapun hasil rata-rata pengujian kekerasan *vickers* pada spesimen pengecoran logam paduan AlSi dengan variasi persentase pengikat cetakan pasir lempung lokal Bangkalan 12% dan bentonit 0,5% adalah 131,9 HV. Diagram hasil pengujian kekerasan logam AlSi dapat dilihat pada Gambar 8.

Perbedaan nilai kekerasan membuktikan bahwa penggunaan jenis variasi persentase pengikat lempung lokal Bangkalan dan bentonit 0,5% mempengaruhi tingkat kekerasan paduan AlSi. Gambar 8 menunjukkan

Tabel 4. Hasil uji kekerasan *microvickers* AlSi dengan variasi perlakuan persentase pengikat cetakan pasir

Jenis	Spesimen	Nilai Kekerasan (HV) di Tiga Titik Permukaan			Rata-rata
		1	2	3	
		6% lempung lokal Bangkalan dan 0,5% bentonit	1	108,6	
9% lempung lokal Bangkalan dan 0,5% bentonit	1	117,7	108,4	129,3	118,47
12% lempung lokal Bangkalan dan 0,5% bentonit	1	138,5	127,4	129,8	131,9



Gambar 8. Diagram batang nilai kekerasan rata-rata

semakin besar persentase pengikat lempung lokal Bangkalan maka semakin tinggi nilai kekerasan logam AlSi. Nilai kekerasan logam yang tinggi diakibatkan karena adanya perbedaan temperatur logam pengecoran dan cetakan yang cukup signifikan sehingga membuat laju pendinginan berlangsung secara cepat.

Temperatur cetakan dipengaruhi oleh kadar lempung lokal Bangkalan, yang memiliki karakteristik kandungan terbanyak berupa kalsium (CaCO_3). Ayu et al. (2015) menyatakan bahwa penambahan air pada CaCO_3 akan menimbulkan reaksi cepat dan kuat. Dalam bentuk serbuk, CaCO_3 akan melepaskan kalor. Kalsium hidroksida akan segera terbentuk akibat molekul CaCO_3 yang secara cepat mengikat molekul air (H_2O). Zat ini bersifat lunak dan menyerupai pasta. Kondisi tersebut membuat logam berada dalam keadaan tidak stabil sehingga laju pengintian semakin cepat. Hal ini mengakibatkan butiran yang dihasilkan menjadi tidak stabil, karena tidak cukup waktu untuk bisa tumbuh seperti pada Gambar 4c. Hal ini mengartikan bahwa logam dapat diperkuat melalui perluasan batas butir. Selain itu, sifat mekanik logam AlSi yang tinggi disebabkan karena penyebaran kristal homogen silikon (Si) yang halus. Hal ini diperkuat dengan pernyataan Palagan (2015) yang menyebutkan bahwa semakin kecil matrik AlSi maka semakin tinggi kekerasannya.

Hasil pengujian tarik dan kekerasan paduan AlSi menunjukkan hasil yang saling berkaitan. Keterkaitan tersebut adalah kekerasan material secara umum memiliki perbandingan lurus dengan kekuatan tarik material tersebut. Hal ini selaras dengan penjelasan Yohanes dan Djamil (2008) yang menyebutkan bahwa nilai kekerasan logam yang semakin besar akan meningkatkan sifat getas getas dari logam tersebut. Hal ini mengakibatkan nilai *yield strength* dengan nilai *ultimate tensile strength* memiliki perbedaan yang sangat kecil. Penelitian Syaifullah et al. (2018) menyebutkan bahwa paduan AlSi hasil pengecoran dengan penggunaan pengikat lempung lokal Bangkalan sebesar 9% menghasilkan kekuatan tarik AlSi sebesar 12,871 kgf/mm^2 dan kekerasan AlSi sebesar 128,033 HV. Apabila dibandingkan dengan AlSi hasil

pengecoran dari variasi persentase pengikat lempung lokal Bangkalan 9% dan bentonit 0,5% pada penelitian ini, nilai kekuatan tarik dan kekerasan AlSi lebih kecil. Hal tersebut menandakan bahwa pemberian bentonit sebesar 0,5% pada variasi pengikat lempung lokal Bangkalan 9% justru menurunkan kekuatan tarik dan kekerasan logam paduan AlSi hasil pengecoran.

4. Kesimpulan

Semua logam paduan AlSi hasil pengecoran dengan variasi persentase pengikat cetakan pasir lempung lokal Bangkalan memiliki cacat lubang dan cacat struktur butir. Jumlah cacat paling rendah terdapat pada variasi persentase pengikat lempung lokal Bangkalan 12% dengan jumlah 76 cacat lubang dan 80 cacat struktur butir. Sedangkan nilai kekuatan tarik tertinggi terdapat pada logam AlSi dengan variasi pengikat 12% dengan nilai sebesar 11,188 kgf/mm^2 . Adapun nilai kekerasan tertinggi juga terdapat pada logam AlSi dengan variasi pengikat 12% dengan nilai sebesar 131,9 HV. Berdasarkan beberapa simpulan tersebut, penggunaan pengikat lempung lokal Bangkalan sejumlah 12% merupakan variasi pengikat cetakan pasir terbaik dibandingkan variasi pengikat 6% dan 9% dilihat dari cacat pengecoran, kekuatan tarik dan kekerasan logam.

Ucapan Terima Kasih

Dosen Prodi Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta, Dosen Prodi Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Malang, dan Universitas Merdeka Malang dan Kementerian Keuangan beasiswa LPDP yang telah membantu dan membiayai penelitian ini.

Daftar Pustaka

- American Society for Testing Materials. (2008). *Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products* (p. 5). West Conshohocken: ASTM International.
- Ayu, M.H.M., Fuad, A., Alfiah, S.I., & Wonorahardjo, S. (2015). Sintesa Hydroxyapatite ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$) Berbasis Batu Kapur. *Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya (JPFA)*, 5(1), 15–20.
- Budiyono, A., Widayat, W. & Rusiyanto. (2012). Peningkatan Sifat Mekanik Aluminium Bekas. *Jurnal Profesional*, 8(1), 12–22.
- Chang, Y.L., Hung, F.Y., & Lui, T.S. (2017). Enhancing The Tensile Yield Strength Of A 6082 Aluminium Alloy With Rapid Heat Solutionizing. *Material Science & Engineering*. National Cheng Kung University.

- Ismail, F. (2012). Rancang Bangun Alat Uji Impak Charpy. *Tugas Akhir Fakultas Teknik*. Universitas Diponegoro.
- International Standardization Organization. (2019). *Metallic Materials-Tensile Testing Third Edition* (p. 1). Switzerland: ISO.
- Palagan, F. F. K. (2015). Pengaruh Model Sistem Saluran Pada Proses Lumpur Porong, Sidoarjo Sebagai Pengikat Pasir Cetak. *Jurnal Teknik Mesin*, 23(2).
- Perna, M. I. R. (2017). *High Performing Cast Aluminium-Silicon Alloys* (p. 25). Kallered: Ineko AB.
- Saputra, A. B. (2018). Analisis Sifat Mekanik Pasir Cetak Terhadap Variasi Penggunaan Pengikat Lempung Bangkalan, Fly Ash, dan Bentonit. (*Skripsi tidak diterbitkan*). Universitas Negeri Malang.
- Sari, R. P. K., Siahaan, E., & Darmawan, S. (2016). Pengaruh Unsur Silikon Pada Aluminium Alloy (AlSi) Terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro. *Jurnal Poros*, 14(1), 49–56.
- Shahria, S., Tariquzzaman., Rahman, H., Amin, A., & Rahman, A. (2017). Optimization Of Molding Sand Composition For Casting Al Alloy. *International Journal of Mechanical Engineering and Applications*, 5(3), 155–161.
- Soedihono. (2012). Pencegahan Pembekuan Putih Pada Besi Cor Kelabu FC-250 Menggunakan Teknologi Inokulasi. *Jurnal Steman*. Politeknik Manufaktur Negeri Bandung.
- Sudibyo, A., Kusharjanta, B., & Raharjo, W.P. (2013). Pengaruh Penampang Ingate Terhadap Cacat Porositas dan Nilai Kekerasan Pada Proses Pengecoran Aluminium Menggunakan Cetakan Pasir. *Jurnal Mekanika*, 12(1), 53–56.
- Suharnadi, B. & Santoso, N. (2016). Variasi Penambahan Fluk Untuk Mengurangi Cacat Lubang Jarum dan Peningkatan Kekuatan Mekanik. *Jurnal Material dan Teknologi Proses*, 1(1), 13–17.
- Suprpto, W. (2011). Porositas Gas Pada Material Duralium Dalam Pengecoran Sistem Vakum. (*Disertasi tidak diterbitkan*). Universitas Indonesia.
- Surdia, T. & Chijiwa, K. (2006). *Teknik Pengecoran Logam* (p. 93). Jakarta: Pradnya Paramita.
- Syaifullah, C. G., Saputra, A. B., Ruhyatul, S. F., & Puspitasari, P. (2018). Analisis Of Casting Defects and Mechanical Properties on Al-Si Alloys Using Bangkalan Local Clays as Sand Casting Binder. In *MATEC Web of Conferences*. (pp. 204). Malang, Indonesia: Department of Mechanical Engineering, State University of Malang.
- Tiedje, N. S., Taylor, J. A., & Easton, M. A. (2013). A New Multi-Zone Model For Porosity Distribution In Al-Si Alloy Castings. *Acta Materialia*, 61(8), 3037–3049.
- Yohanes, G. & Djamil, S. (2008). Pengaruh Degasser dan Grain Refiner Terhadap Sifat Mekanik Paduan AlSi Produk Cor. *Jurnal Prosiding Seminar Nasional Teknoin 2008 Bidang Teknik Mesin*. Universitas Tarumanegara.
- Zamani, M. (2015). *AlSi Cast Alloys-Microstructure and Mechanical Properties at Ambient and Elevated Temperature* (p. 53). Kallered: Ineko AB.
- Zhang, Y. X., Yi, Y. P., Huang, S. Q., & Dong, F. (2016). Influence Of Quenching Cooling Rate On Residual Stress and Tensile Properties Of 2A14 Aluminium Alloy Forgings. *Material Science and Engineering A*, 674, 658–665.