

Pengaruh Susunan Kawat dan Plat Baja pada *Aluminium Matrix Composites* terhadap Uji Mekanik dan Uji Balistik

Gilang Aji Prayoga^{1*}, Iman Saefuloh¹, Agus Pramono²

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

²Jurusan Teknik Metalurgi, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Jl. Jendral Soedirman KM. 3 Cilegon 42435 Provinsi Banten

*E-mail: gilangprayogaaa@gmail.com

Diterima: 30-09-2020; Direvisi: 26-11-2020; Dipublikasi: 28-12-2020

Abstrak

Al 6061 memiliki sifat mekanik yang unggul antara lain bobot ringan, mampu las baik, ketahanan korosi baik serta harga yang murah, tetapi memiliki kelemahan dalam hal kekuatannya. Salah satu metode efektif untuk meningkatkan kekuatan adalah menambahkan beberapa material seperti SiC, hal ini dikenal sebagai *Aluminium Matrix Composites*. AMC (*Aluminium Matrix Composites*) adalah jenis material komposit logam dengan aluminium sebagai matriks dan serbuk SiC sebagai penguat. Proses pembuatan AMC tidak mudah karena matriks dapat membentuk gumpalan. Maka dari itu metode *stir casting* sangat efektif karena dapat menghasilkan AMC yang merata dan memecah gumpalan tersebut. Untuk menambah ketangguhan material, pada penelitian ini diberi penguat kawat baja SS201 dan plat SS316 yang kemudian penggabungannya menggunakan metode cor. Pola susunan plat baja SS316 dan kawat baja SS201 pada AMC berpengaruh terhadap ketangguhan dan ketahanan balistik. Penambahan kawat dan plat baja dengan pola susunan yang membentuk piramida sesuai dengan kekuatan materialnya pada AMC terbukti menghasilkan tahanan balistik yang baik dengan bobot yang ringan. Penggunaan plat baja SS 316 dan kawat SS 201 menjadi pembaruan dalam penelitian ini, dengan menganalisa pengaruh susunan pada material serat baja dan plat baja yang dipadukan dengan aluminium terhadap sifat mekanis serta, mengetahui pengaruh susunan pada material kawat dan plat baja yang dipadukan dengan AMC terhadap sifat balistik.

Kata kunci: AA 6061; *Aluminium Matrix Composites* ; Baja SS 201; Baja SS 316; Balistik; *Stir Casting*

Abstract

Al 6061 has superior mechanical properties including light weight, good weldability, good corrosion resistance and low price, but it has weaknesses in terms of strength. One effective method of increasing strength is adding some material such as SiC, this is known as *Aluminum Matrix Composites*. AMC (*Aluminum Matrix Composites*) is a type of metal composite material with aluminum as a matrix and SiC powder as a reinforcement. The process of making AMC is not easy because the matrix can form lumps. Therefore the *stir casting* method is very effective because it can produce an even AMC and break up the lumps. To increase the toughness of the material in this study, it was given SS201 steel wire reinforcement and SS316 plate which were then combined using the cast method. The arrangement pattern of SS316 steel plate and SS201 steel wire at AMC has an effect on the toughness and ballistic resistance. The addition of wire and steel plate with an arrangement pattern that forms a pyramid according to the strength of the material at AMC is proven to produce good ballistic resistance at a light weight. The use of SS 316 steel plate and SS 201 wire is an update in this study, by analyzing the effect of the arrangement of steel fiber material and steel plate combined with aluminum on mechanical properties and, knowing the effect of arrangement on wire and steel plate materials combined with AMC on properties ballistic.

Keywords: Al 6061; *Aluminum Matrix Composites*; *Ballistics*; *Stir Casting*; *Steel SS 201*; *Steel SS 316*

1. Pendahuluan

Dalam sebuah penelitian dijelaskan bahwa dengan bertambahnya ketebalan baja, dapat meningkatkan kemampuan balistik, namun dari sisi berat sangat merugikan, untuk itu dilakukan penelitian yang mengupayakan ketahanan yang lebih baik untuk mengurangi berat dari material balistik tersebut [1]. Sebuah penelitian lainnya melakukan kombinasi baja dengan keramik alumina pada bagian muka dapat memperkuat material balistik. Selain itu penambahan keramik alumina juga dapat mengurangi berat sebanyak 26% [2]. Salah satu metode yang dipakai adalah teknik *stir casting* menggunakan pengadukan dengan putaran tinggi dan dengan pemanasan awal terhadap partikel keramik agar bisa

terbasahi oleh matrik cair, sebelum dicampurkan ke dalam matrik. Tujuan utamanya adalah untuk mendapatkan distribusi partikel keramik yang seragam [3].

Investigasi balistik terhadap komposit laminat Al 2024/Al₂O₃ dengan menggunakan proyektil 7,62 AP. Penggunaan aluminium sebagai *backing layer* sangatlah efektif dalam meningkatkan ketahanan balistik, dan lebih ringan hingga 25 % dari material lain [4]. Pada penelitian lainnya Laminat AA6061 diperkuat dengan kawat baja karbon tinggi yang memiliki kekuatan tarik 800-1000 MPa. Pada uji balistik 9,0 mm dan 7,62mm. dibuktikan bahwa hasil dari uji balistik dengan menggunakan proyektil 9,0 mm hanya berdampak deformmasi cekung pada material (tidak tembus). Namun, pada uji balistik 7,62 mm material rusak (tembus) [5]. Pelat komposit matriks aluminium berpenguat silikon karbida dengan fraksi volume penguat SiC 5 % dan 10 % mempunyai mempunyai ketahanan balistik yang baik untuk tipe II, walaupun terjadi retak pada penampang belakang [6]. Penelitian lain menggunakan matrik AlSi7Mg2 dengan penambahan partikel SiC 5%, 10%, dan 15% masing-masing menghasilkan ketangguhan impak 0,38 J, 0,42 J, dan 0,58 J [13].

Pada penelitian ini menggunakan aluminium sebagai layer. Al yang digunakan adalah seri AA 6061 yang ditambahkan Si, SiC dan Mg. Penambahan 1% Mg mampu meningkatkan ketangguhan, dan nilai ketangguhan tertinggi dicapai pada penambahan 5% SiC[10]. Pengadukan mekanik diperlukan untuk meningkatkan *wettability*. Pengadukan pada kondisi cair sempurna mengakibatkan partikel penguat mengapung di permukaan matrik cair. Pengadukan pada kondisi *semi solid* bisa membantu penyatuan matrik dan penguat, namun harus dipanaskan lagi sampai suhu penuangan [11]. Dari hasil pengujian dan pengamatan makro serta mikro, maka dapat disimpulkan bahwapenambahan aluminium cor pada plat baja yang telah dikeraskan dapat menurunkan kekerasan platbaja tersebut, karena dalam pengaruh proses pemanasan cetakan dan plat serta penuangan aluminium cair hingga proses pembekuannya di atas plat baja menyebabkan pemanasan dan pendinginan lambat [12]. Maka dibutuhkan proses pendinginan dan pada penelitian ini dengan menggunakan air. Sebagai penguat dari komposit ini digunakan kawat baja SS 201 dan pelat baja SS 316. Output yang diharapkan penelitian ini memperlancar mobilitas serta kecepatan kendaraan militer. Selain itu, sifat mekanik dari komposit matriks aluminium seperti ketangguhan, deformasi laju regangan, kekuatan terhadap pembebanan dinamik, menjadi sangat penting saat digunakan sebagai komponen *armor* [15]. Penggunaan plat baja SS 316 dan kawat SS 201 menjadi pembaruan dalam penelitian ini, dengan menganalisa pengaruh susunan pada material serat baja dan plat baja yang dipadukan dengan aluminium terhadap sifat mekanis serta, mengetahui pengaruh susunan pada material kawat dan plat baja yang dipadukan dengan *AMC* terhadap sifat balistik.

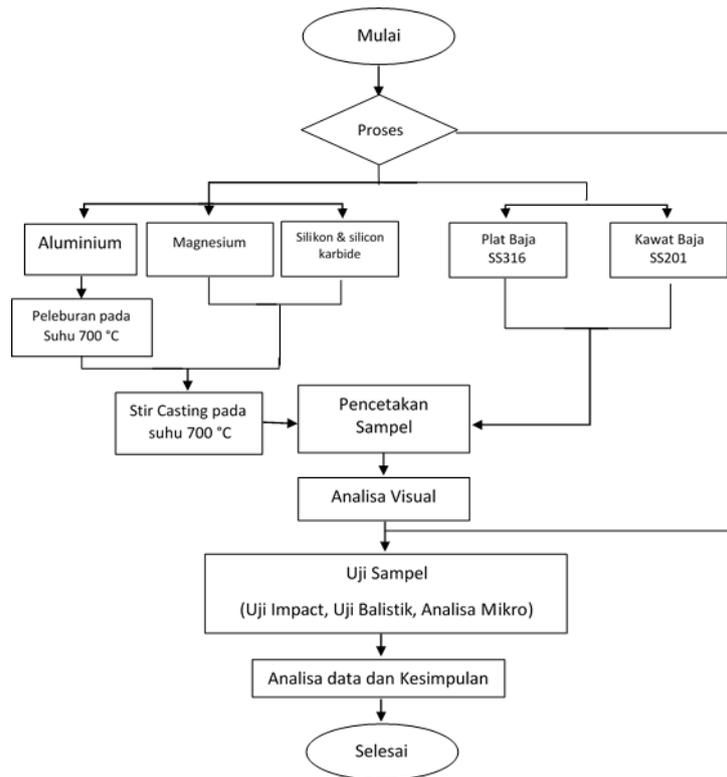
2. Material dan metodologi

2.1. Pembuatan Sampel

Perhitungan fraksi volume pelat AA 6061 dan kawat ss201 dengan menggunakan rumus hukum campuran (*rule of mixture*) seperti pada persamaan 1, dimana V_c adalah Volume campuran (cm^3) dan V_{al} adalah Volume Aluminium (cm^3). Perhitungan ini bertujuan untuk menghitung jumlah kawat yang dibutuhkan untuk pembuatan sampel komposit tahan peluru yang akan dianyam [5].

$$V_c = V_{al} + K_{kawat} \dots\dots\dots(1)$$

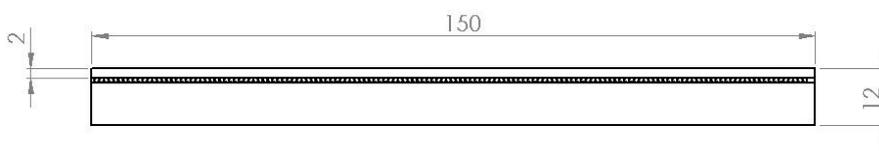
Pada proses pengecoran penelitian ini material yang digunakan Al7Si 1Mg+SiC 5% dengan metode *Stir Casting*. Pada saat pengecoran menggunakan teknik pengecoran gravitasi pada waktu penuangan material logam ke dalam cetakan.



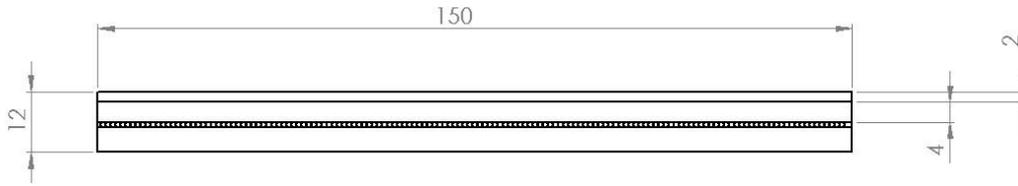
Gambar 1 Diagram Alir

Pertama siapkan bahan-bahan yang akan dilebur yaitu Al, Si, SiC dan Mg. Masing-masing bahan ditimbang sesuai dengan persentase perhitungan. Lalu masukan Alumunium dan Silicon ke dalam tungku peleburan stir casting dan dipanaskan sampai suhu 700°C untuk mencapai kondisi cair sempurna. Setelah itu didinginkan sampai suhu 590°C untuk mencapai kondisi semi solid. Sementara itu SiC juga dipanaskan sampai suhu 500°C dan Mg juga dipanaskan 70°C. Cetakan logam juga dipanaskan sampai suhu 200°C. Setelah itu SiC yang sudah dipanaskan kemudian dimasukkan ke dalam tungku sedikit demi.demi.lalu diaduk dengan strirer dengan kecepatan 500rpm. Setelah itu masukan Mg yang yang sudah panaskan lalu diaduk lagi dengan strirer dengan kecepatan putar 500rpm. Suhu kemudian ditahan 700°C sambil terus dilakukan pengadukan, dilanjutkan dengan penuangan pada cetakan yang sudah terisi plat baja S316 dan kawat baja lalu dipanaskan terlebih dahulu hingga 200°C. Pendinginan dilakukan pada suhu ruang. Setelah hasil cor mencapai suhu ruang dan padat, kemudian dilepaskan dari cetakan, dan bahan dipotong sesuai dengan ukuran spesimen pengujian.

Pada pengujian balistik bahan uji ditempatkan pada jarak 5 m dan ditembak dengan sudut serang normal (tegak lurus permukaan panel) dengan menggunakan senjata pistol *Glock 17* dengan peluru kaliber 9mm (MU1- TJ) dan standar NIJ 0108.01 level II untuk *vehicle armor*. Pada Gambar 2 dan 3 adalah susunan plat dan baja pada bahan uji pengujian balsitik dengan ukuran 150 x 150 x 12 mm.

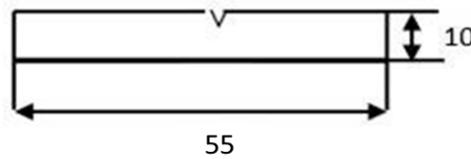


Gambar 2. Susunan Sampel I Bahan uji pengujian balistik



Gambar 3. Susunan Sampel II Bahan uji Balistik

Pengujian impact pada penelitian ini menggunakan metode *charpy* dengan standar JIZ Z 2242, 1998. Dalam pengujian impact ini bahan uji yang sudah di preparasi selanjutnya diberi takik sedalam 2 mm dengan sudut 45°. Pada pengujian kekerasan. Gambar 4 adalah bahan uji pengujian kekerasan dengan ukuran seperti berikut.



Gambar 4. Standar Dimensi Benda Pengujian Impact

3. Hasil dan pembahasan

3.1. Hasil Pengujian Impact

Pengujian ini menggunakan metode *Charpy*. Dengan standar *JIS Z 2242*, Tabel 1 merupakan data hasil uji impact.

Tabel 1. Data pengujian impact (*charpy*)

No	Sampel	Energi yang Terserap (Joule)
1	I	23
2	II	19

Berdasarkan dari tabel hasil uji impact, menjelaskan bahwa nilai energi yang bisa diserap material yang paling besar adalah 23 Joule pada pada sampel I. Sedangkan energi yang dapat diserap oleh sampel II adalah 19 Joule. Maka susunan terbaik yang dapat disimpulkan berdasarkan uji impact adalah susunan pada sampel I.

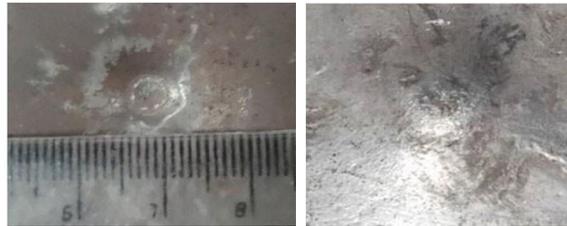


Gambar 5. (a) Sampel I Uji Impact dan (b) Sampel II Uji Impact

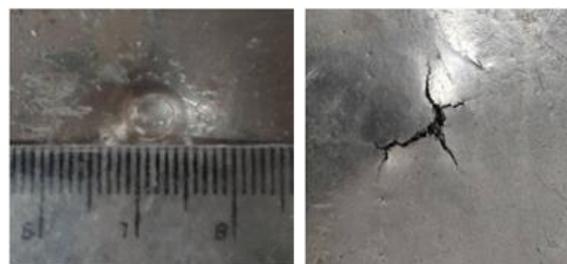
3.2. Hasil Pengujian Balistik

Pada Gambar 6 dapat dilihat bahwa besar diameter perforasi yang diakibatkan proyektil kaliber 9 mm pada sampel I adalah 14 mm sedangkan pada sampel II 18 mm. Adapun bentuk perforasinya dapat dilihat pada Gambar 6 dan 7.

Dari gambar tersebut, tidak ada satupun proyektil kaliber 9 mm yang dapat menembus komposit tahan peluru. Yang terjadi hanyalah cekungan permukaan pada pelat bagian depan saja. Hal ini disebabkan komposit tahan peluru memiliki kemampuan yang baik dalam menyerap energi dan mendistribusikan tegangannya ke seluruh bagian komposit. Jika kedua sampel ini dibandingkan berdasarkan diameter perforasi dan deformasi, sampel I lebih baik dari pada sampel II.



Gambar 6. Hasil Uji Balistik Sampel I

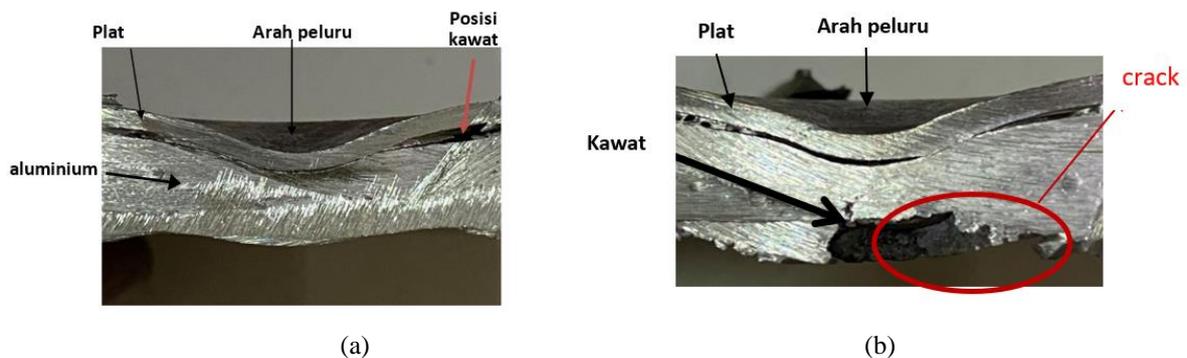


Gambar 7. Hasil Uji Balistik Sampel II

3.3. Karakteristik Secara Makro

Pengamatan secara makro dilakukan dengan memotong melintang daerah perforasi pada sampel komposit tahan peluru[5]. Setelah terlihat bagian-bagian komposit yaitu plat baja, kawat baja dan aluminium. Selain itu, terlihat adanya lintasan proyektil. Karakteristik perforasi pada sampel yang terkena proyektil kaliber 9 mm dengan kecepatan 380 ± 15 m/s dapat dilihat pada Gambar 8 (a-b). Pada kedua gambar tersebut dapat diamati dengan jelas bahwa pada bagian pelat mengalami deformasi plastis akibat dampak dari proyektil.

Dari pengamatan secara makro, Penjalaran retak sepanjang penampangtebal pada komposit matriks Al7Si+1Mg+5%SiC fraksi volume silikon karbida hasil uji balistik tipe II dapat dilihat pada Gambar 8 (a-b), dimana terlihat bahwa penjalaran retak terjadi di sekitar partikel penguat silikon karbida. Laju tumbukan proyektil pada baja yang keras berakibat muncul ASB dan ASB yang menyebabkan retak (*ASB induced cracking*). Munculnya ASB dan *ASB induced cracking*) [9]. Tabel 2 adalah hasil analisa makro pada uji balistik.



Gambar 8. (a) Potongan melintang Sampel I dan (b) Potongan melintang Sampel II

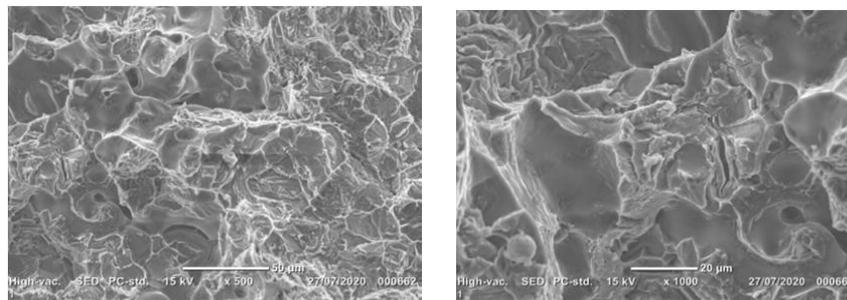
Tabel 2. Hasil Analisa Makro pada Uji Balistik

	Sampel I	Sampel II
Diameter Lubang Tembak (mm)	14	18
Kedalaman lubang tembak (mm)	2,45	2,6
Sudut (°)	70	75
Perubahan Dimensi (mm)	2,2	1,5

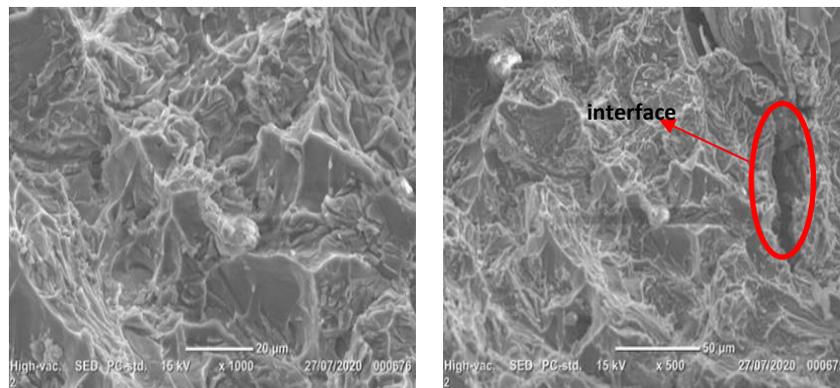
3.4. Pengamatan Mikrostruktur

3.4.1. Hasil Uji Impak

Pengamatan mikro struktur sampel yang telah diuji impact menggunakan Scanning Electronic Microscope (SEM), dan didapat dilihat pada Gambar 9 dan 10.



Gambar 9. Pengamatan pada Sampel 1 dengan perbesaran 500x dan 1000x

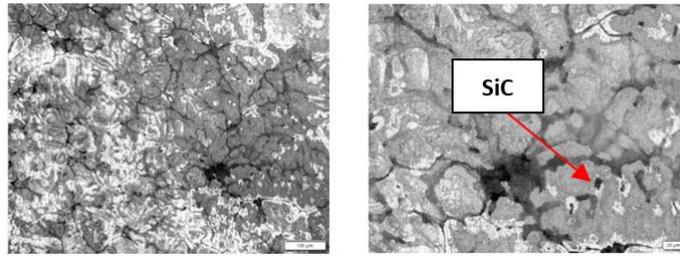


Gambar 10. Pengamatan pada sampel II dengan perbesaran 500x dan 1000x

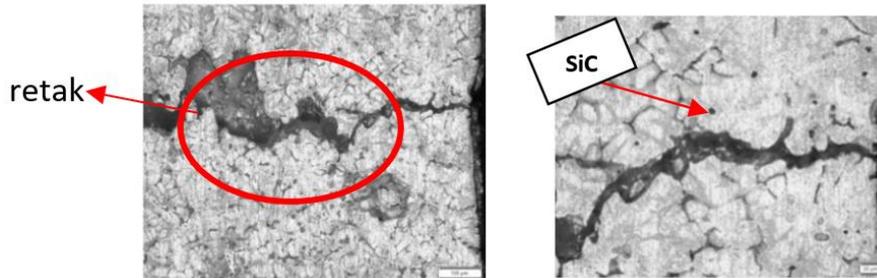
Dari hasil pengamatan mikro struktur, pada sampel 1 dan 2 terjadi patahan ulet. Hal ini dapat dibuktikan Permukaan patahan ini tidak rata, nampak seperti buram dan berserat, tipe ini mempunyai harga *impak* yang tinggi [8], bentuk patahannya yang biasa disebut *cup and cone*. Lalu, dari pengamatan tersebut terlihat ikatan *interface* antar unsur kurang merata yang disebabkan oleh kecepatan putaran (rpm) dari *stirer* (pengaduk) kurang tinggi dan waktu pengadukan terlalu singkat [14].

3.4.2. Pengamatan Mikro Struktur Sampel Balistik

Pengamatan mikro struktur sampel yang telah diuji balistik menggunakan uji OM, dan didapat dilihat pada Gambar 11 dan 12.



Gambar 11. Pengamatan Mikro Struktur Sampel 1 dengan perbesaran 200x dan 500x



Gambar 12. Pengamatan Mikro Struktur pada Sampel II perbesaran 200x dan 500x

Pada Gambar 11 dan 12 Al berwarna abu-abu terang dan bulatan hitam adalah SiC. Sedangkan garis-garis hitam adalah batas butir yang merupakan unsur Mg. Banyak terdapat kotoran pada hasil pengecoran yang mengakibatkan penguat tidak dapat mengisi celah kosong pada batas butir aluminium. Bila dilihat pada tiap sampel banyak terdapat celah kosong yang tidak terisi, pada sampel II celah tersebut mengakibatkan crack setelah diuji balistik (lihat pada Gambar 8b). Hal ini dikarenakan posisi kawat yang berada di tengah lebih berpotensi menimbulkan celah pada bagian tengah sampel yang menyebabkan ikatan kimiawi yang terbentuk pada daerah antar muka masih belum dapat meredam beban balistik sehingga retak menjalar pada daerah ini. Kondisi ini dapat diatasi dengan meningkatkan ketangguhan dari matriks [7]. Kurangnya kadar Mg juga mempengaruhi terbentuknya celah antara aluminium dengan kawat, pada penelitian ini Mg berfungsi sebagai *wetting agent* untuk membasahi interface matriks dan penguat. Mg memiliki peran sebagai pembasah yang mengikat antara matrix dan penguat, kadar Mg ideal sebagai *wetting agent* yang mengikat matriks dengan penguatnya sebesar 10-12% [6].

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka menghasilkan beberapa kesimpulan. Grafik tabel 1 menjelaskan bahwa nilai energi impact yang diserap material adalah 23 Joule pada pada sampel I. Sedangkan energi yang dapat diserap oleh sampel II adalah 19 Joule. Maka susunan terbaik yang dapat disimpulkan berdasarkan pengujian impact adalah susunan pada Sampel I. Terjadi patahan ulet pada kedua sampel uji impact. Dari penelitian ini didapat susunan pada sampel I lebih baik dibandingkan sampel II karena sampel I lebih baik dalam ketahanan terhadap balistik. Susunan terbaik jika dilihat dari ketangguhan material adalah seperti piramida terbalik, yang dimana nilai ketangguhan yang paling tinggi berada diatas.

Daftar Notasi

AMC	=	Aluminium Matrix Composites	SS	=	Stainless Steel
SEM	=	Scanning Electron Microscope	Vc	=	Volume Campuran
SiC	=	Silicon Carbide	Val	=	Volume Aluminium
AA	=	Aluminium Alloy			

Daftar Pustaka

- [1] Borvik, K. 2000. Ballistic penetration and perforation of steel plates. Dr. Ing Thesis. Norwegia: Departement of Structural Engineering Norwegian University of Science and Technploogy Norway
- [2] Ubeyli, Mustafa, Yildirim, R. Ohan, & Ogel, Bilgehan (2011). Investigation on the ballistic behavior of $Al_2O_3/Al2024$ laminated composites. *Journal of Materials Processing Technology*, 196, 356-364
- [3] Taha, MA., and El-Mahallawy, NA. (1993). "Advances in Metal Matrix Composites". Key Engineering Materials 79-80, 75-90.
- [4] Ubeyli, M., Yildirim, R. Orhan & Demir, T. (2008). Investigation on the ballistic impact behavior of various alloys. *Materials and Design*, 29, 2009-2016.
- [5] Muhammad Nurrahman, 2010, Perancangan komposit laminat AA 6061 tahan peluru dengan penguat kawat baja karbon tinggi dengan susunan ($0^\circ/90^\circ/0^\circ$) dan variasi fraksi volume 2.5%, 5%, 7.5%.
- [6] Agus Pramono, Adhitya Trenggono, Fatah Sulaiman, Kompabilitas Sintering dan Fraksi Volume Terhadap Sifat Mekanik Komposit Hybrid. *Jurnal Metalurgi dan Material Indonesia (JMMI)* Vol. 2, No. 1, April 2019 e-ISSN 2654-4962.
- [7] Dwi Rahmalina, Bondan T. Sofyan, Bambang Suharno, Eddy S. Siradj, *Pengaruh Fraksi Volume Penguat Silikon Karbida terhadap Karakteristik Balistik Komposit Matriks Aluminium*, **Majalah Pengkajian Industri**, Vol. 6. No. 1, April 2012, pp. 51-56.
- [8] Hartanto, L., (2009), Study Perlakuan Alkali dan Fraksi Volum Serat Terhadap Kekuatan Bending, Tarik, dan *Impak Komposit Berpenguat Serat Rami Bermatrik Polyester BQTN 157.*, Tugas Akhir, FT, Universitas Muhammadiyah, Surakarta.
- [9] Bidyapati Mishra, et al. (2012), Effect of tempering temperature, plate thickness and presence of holes on ballistic impact behavior and ASB formation of a high strength steel, *International Journal of Impact Engineering* 44: 17-28.
- [10] Suyanto, 2015, Analisa ketangguhan komposit aluminium berpenguat SiC. Semarang: *Jurnal SIMETRIS*, vol 6 no 1.
- [11] Hashim, J., et al. (2001). "The Wettability of SiC Particle in Cast Aluminium Matrix Composites". *Journal of Material Processing Technology* 119, 329-335.
- [12] Purwanto Helmy, Rudy Soenoko, Anindito Purnowidodo, Agus Suprpto, 2015, Karakteristik makro dan mikro plat baja-aluminium terhadap ketahanan balistik, Malang; SNST ke-6
- [13] Ozben, T., et al. (2008). "Investigation Mechanical and Machinability Properties of SiC Particle Reinforced Al-MMC". *Journal of Materials Processing Technology* 1.98, 220-225e.
- [14] Iman Saefuloh, et al. Variasi Putaran Terhadap Nilai kekerasan, kekuatan Tarik dan struktur mikro Aluminium Matrix Composites (AMC) Hasil Stir casting dengan paduan Mg dan SiC yang berlebih. *Jurnal Mesin Nusantara* 2 (2), 99-108
- [15] Surappa, M.K., & Sivakurma, P. (1993) Fracture-toughness elevation of 2040-Al/ Al_2O_3 particulate composites by instrumented impact. *Journal of Composites Science of Technology*, 46 (3), 287-292