

Pengaruh volume Zn terhadap kekerasan dan struktur mikro pada friction stir processing aluminium AA 1100

Alvian Restu Putra Utama, Nurul Muhayat, Triyono

¹Program Studi Teknik Mesin, Universitas Sebelas Maret

Jl. Ir. Sutami No. 36A Surakarta 532163

Email korespondensi: alvianrestu23@yahoo.co.id

Abstrak

Friction Stir Processing (FSP) merupakan salah satu proses pengerasan permukaan logam ringan seperti aluminium yang dikembangkan berdasarkan prinsip kerja FSW. Penggunaan aluminium dan paduannya sebagai komponen permesinan semakin banyak digunakan. Hal tersebut dikarenakan aluminium dan paduannya memiliki sifat yang ringan dan mampu bentuk yang baik. Kajian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh volume Zn terhadap sifat mekanik dan fisik material aluminium alloy 1100. Sifat mekanik dianalisa melalui pengujian kekerasan vickers, sedangkan sifat fisik diamati melalui pengamatan struktur makro, mikro, dan SEM. Variasi yang digunakan yaitu volume Zn 22 mm³, 45 mm³, 67 mm³, 90 mm³, dan tanpa penambahan Zn. Kecepatan putar tool, dwell time, dan plunge depth dalam keadaan seragam. Hasil pengamatan SEM dan mapping menunjukkan persebaran Zn yang tidak merata pada SAZ. Hal ini dibuktikan dengan kandungan Zn yang tinggi pada daerah tepi tool pada pengamatan EDS. Hasil pengujian kekerasan menunjukkan semakin meningkat seiring bertambahnya volume Zn. Nilai kekerasan permukaan FSP AA1100 tertinggi yaitu 87,5 HV dengan variasi volume Zn terbanyak, sedangkan dengan variasi tanpa penambahan Zn sebesar 44,7 HV.

Kata kunci: Friction Stir Processing (FSP), AA1100, volume Zn, micro-hardness vickers.

Abstract

Friction Stir Processing (FSP) is a development of FSW mechanism on surface hardening process such as in aluminium. The using of aluminium and its alloy were globally used as machining part, it because aluminium and its alloy are light and able to forming. Goal of this study are learn the effect of Zn volume on mechanical and physical properties of aluminium alloy 1100. Mechanical properties are tested by the Vickers Hardness Testing, while the physical properties are observe by macrostructures testing, microstructures testing and SEM. The variation are 22 mm³, 45 mm³, 67 mm³, 90 mm³ of Zn volume and without Zn. Rotating speed of tool, dwell time, and plunge depth are in same conditions. Observation result of SEM and mapping show that Zn were not spread well on SAZ. This condition prove by the high of Zn in the edge zone of tool by EDS observation. The result of hardness testing show that the increasing of Zn volume will increase the hardness properties. The highest result of hardness testing in FSP AA1100 is 87.5 HV with the most Zn volume variation, while without Zn is 44.7 HV

Keywords: Friction Stir Processing (FSP), AA1100, Zn volume, micro-hardness vickers.

1. Pendahuluan

Penggunaan aluminium dan paduannya sebagai bahan dalam pembuatan komponen permesinan semakin banyak digunakan. Roda gigi (*gears*) dan *velg* adalah beberapa contoh komponen mesin dalam penggunaan aluminium dan paduannya. Hal tersebut dikarenakan aluminium dan paduannya memiliki sifat yang ringan dan mampu bentuk yang baik [1]. Namun, kekerasan dan kekuatan tarik aluminium masih rendah dibandingkan dengan baja. Oleh karena itu, sifat-sifat tersebut perlu ditingkatkan agar dapat memenuhi kebutuhan yang diperlukan. Peningkatan tersebut mencakup sifat mekanis dan fisis dari aluminium [2].

Dalam upaya meningkatkan kualitas dari aluminium, maka pada material tersebut perlu dilakukan beberapa perlakuan. Salah satunya adalah perlakuan pada permukaan material (*surface treatment*). Perlakuan tersebut bertujuan untuk mendapatkan sifat yang diinginkan dengan memodifikasi struktur permukaan

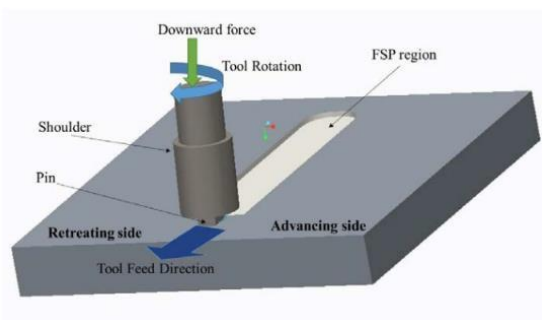
material [3]. Hal ini dapat dilakukan dengan cara perlakuan panas (*heat treatment*), perlakuan mekanis (*mechanical treatment*), pelapisan material (*coating*) atau pengerasan permukaan (*surface hardening*) [4]. Material yang telah dilakukan *surface treatment* akan mengalami peningkatan ketahanan korosi, ketahanan aus, ketahanan listrik, kekuatan bahan, dan mampu las permukaan yang baik [5].

Salah satu proses pengerasan permukaan adalah *Friction Stir Processing (FSP)*. FSP berfungsi untuk pemrosesan material dan modifikasi struktur mikro. Prinsip kerjanya adalah dimulai dari berputarnya *tool* yang terdiri dari *shoulder* dan *pin* dipermukaan benda kerja dimana *pin* menusuk permukaan dan *shoulder* menggesek permukaan benda kerja dengan kecepatan putar tertentu. Gerakan *tool* yang masuk ke dalam dan menggesek permukaan benda kerja mengakibatkan timbulnya panas gesekan. Panas tersebut berfungsi untuk melunakan permukaan benda kerja [6]. FSP menggunakan *shoulder* dan *pin* untuk menghasilkan

deformasi plastis dan pemanasan lokal pada material [2]. FSP dapat menyebabkan distribusi material yang menghasilkan zona bebas cacat dan dapat memperbaiki ukuran butir menjadi lebih kecil. Selain itu, FSP juga dapat memperbaiki proses *solid solution* untuk pengembangan material baru [3].

Logam paduan yang memiliki tingkat kelarutan padat tertinggi yang digunakan pada aluminium adalah *zinc* (Zn). Titik lebur Zn lebih rendah dari Al dan itu terjadi dalam suhu yang digunakan selama FSP dalam pembuatan paduan Al-Zn [7]. Penambahan partikel Zn bermanfaat untuk meningkatkan kekerasan permukaan, sehingga meningkatkan sifat mekanik permukaan [8, 9]. Bauri dkk [9] menyatakan bahwa area permukaan Al yang tercampur dengan Zn memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan area yang tidak tercampur Zn [9]. Zn diketahui membasahi batas butir Al dan meningkatkan batas butir Al. Akibat penambahan partikel Zn, kekuatan dari kekerasan material meningkat secara signifikan [9]. Peningkatan ini bergantung pada kadar Zn, *plunge depth*, dan *speed travelling* dari *tool* [10]. Hal ini disebabkan terbentuknya struktur eutektik paduan Al-Zn yang menunjukkan fase padat Al-Zn yang terbukti dengan tingginya kandungan Al dan Zn pada pengujian SEM. Paduan Al-Zn menunjukkan keuletan yang tinggi baik pada suhu lingkungan atau suhu tinggi [11].

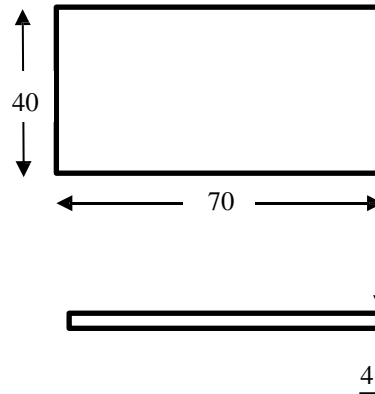
Kumar dkk [12] menyatakan pada permukaan Al-Mg dengan partikel Zn meningkat secara merata pada daerah *stir zone* akibat pertumbuhan butir yang semakin kecil. Hal tersebut dikarenakan input panas pada permukaan lebih kecil sehingga memicu paduan mengeras lebih cepat [12]. Boucherit dkk [13] menyatakan bahwa pengaruh tebal *interlayer* Zn pada pengerasan permukaan aluminium meningkat secara signifikan. Hal ini terbukti dengan hasil kekerasan yang terjadi di *stir zone* lebih tinggi dari aluminium murni (tanpa Zn) [9]. Data pengaruh tebal Zn terhadap kekerasan hasil FSP pada aluminium dengan partikel Zn terbatas, sehingga kajian tentang pengaruh tebal Zn pada FSP perlu dilakukan. Oleh karena itu, kajian ini akan mengkaji tentang proses pengerasan permukaan FSP aluminium AA 1100 dengan penambahan partikel Zn dengan parameter volume Zn, proses perlakuan FSP ditunjukkan seperti pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Ilustrasi proses FSP.

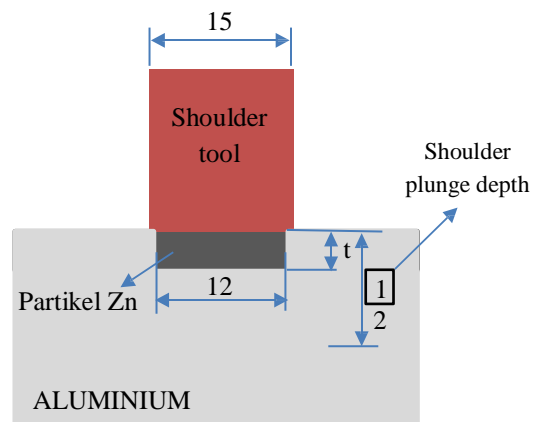
2. Metode

Material yang digunakan dalam kajian FSP ini adalah plat aluminium AA 1100. Plat dipotong dengan ukuran 70 mm x 40 mm x 4 mm seperti pada Gambar 2. Membuat cetakan di permukaan tengah plat dengan menggunakan *endmill* berdiameter 12 mm dengan kedalaman cetakan dari variasi *volume* Zn paling sedikit hingga terbanyak, yaitu 0,2 mm; 0,4 mm; 0,6 mm; dan 8 mm. Cetakan yang terbentuk diberikan partikel Zn secara penuh hingga rata dengan permukaan sesuai dengan parameter kajian *volume* Zn, yaitu 22 mm³, 45 mm³, 67 mm³, 90 mm³.



Gambar 2. Skema ukuran spesimen FSP.

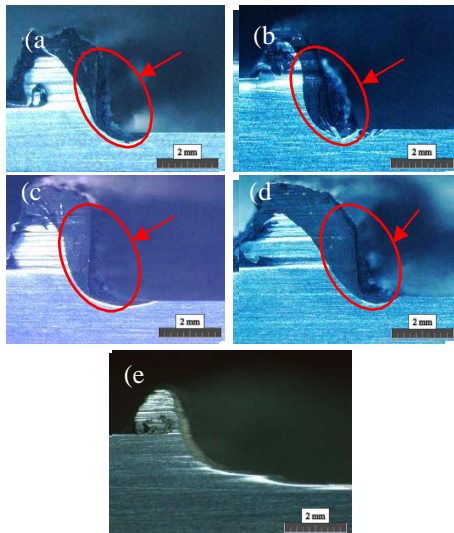
Setiap spesimen dengan dan tanpa Zn dilakukan FSP di bagian tengah plat seperti pada Gambar 3. Parameter yang digunakan adalah *volume* Zn sebanyak 22 mm³, 45 mm³, 67 mm³, 90 mm³, dan tanpa Zn. Pengujian keras *vickers* dilakukan untuk mengetahui kekerasan permukaan pada material AA 1100 pada setiap variasi. Pengujian makro dilakukan untuk mengamati distribusi Zn yang masuk ke dalam spesimen. Pengujian mikro dilakukan untuk mengamati perbedaan struktur mikro pada daerah spesimen hasil FSP. Pengujian SEM dilakukan untuk mengamati persebaran dan kandungan Zn pada setiap variasi.



Gambar 3. Skema penempatan partikel Zn.

3. Hasil dan Pembahasan

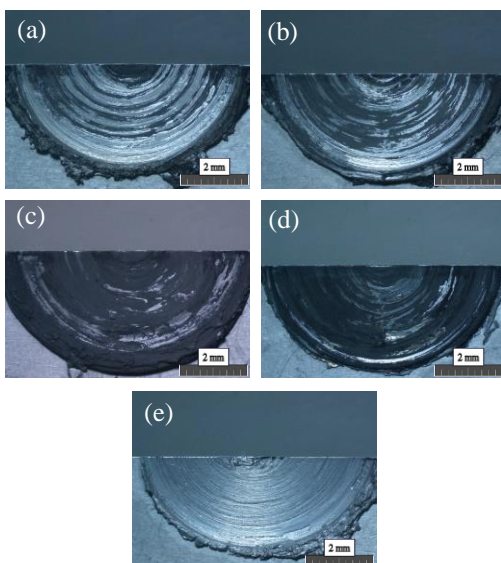
Pengujian struktur makro dilakukan pada hasil pengelasan FSP dengan variasi *volume* Zn untuk mengetahui distribusi Zn masuk ke dalam aluminium. Pengujian dilakukan pada penampang melintang dan bagian atas daerah *tool* pada spesimen. Distribusi Zn ditandai dengan warna yang lebih gelap dibandingkan



dengan dengan daerah sekitarnya pada hasil FSP penampang melintang dan bagian atas daerah *tool* pada spesimen. Pada Gambar 4 menunjukkan hasil foto makro penampang melintang spesimen. Dari hasil uji struktur makro pada penampang melintang tersebut tidak terdapat perbedaan yang mencolok dari hasil FSP. Hal tersebut dikarenakan perbesaran lensa pada alat uji yang kurang besar.

Gambar 4. Hasil foto makro penampang melintang variasi *volume* Zn (a) 22 mm³, (b) 45 mm³, (c) 67 mm³, (d) 90 mm³, dan (e) tanpa Zn.

Gambar 5 menunjukkan hasil struktur makro bagian atas daerah *tool* pada spesimen. Dari hasil tersebut terdapat perbedaan warna yang mencolok. Perbedaan tersebut diakibatkan oleh *volume* Zn yang berbeda ketika pada saat proses pengelasan berlangsung. Hal ini mengakibatkan material aluminium dan Zn



bercampur dan menghasilkan aliran material di sekitar *tool* [9]. Terlihat pada pengujian struktur makro tersebut bahwa semakin meningkat *volume* Zn maka distribusi Zn juga meningkat.

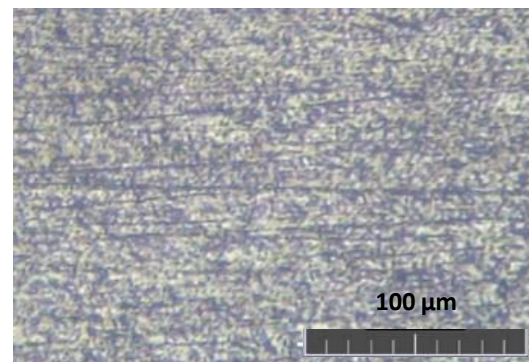
Gambar 5. Hasil foto makro bagian atas daerah *tool* variasi *volume* Zn (a) 22 mm³, (b) 45 mm³, (c) 67 mm³, (d) 90 mm³, dan (e) tanpa Zn.



Pengujian mikroskopik dilakukan pada daerah yang ditunjukkan seperti Gambar 6. Pengujian mikroskopik menunjukkan perbedaan struktur mikro pada hasil FSP di setiap daerah yang diamati. Daerah yang diamati yaitu, *Base Metal* (BM), *Heat Affected Zone* (HAZ), *Thermo-mechanically Affected zone* (TMAZ) dan *Shoulder Affected Zone* (SAZ).

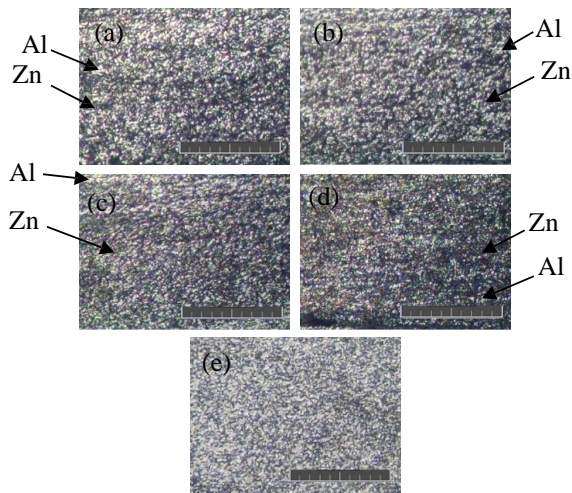
Gambar 6. Daerah pengujian mikroskopik.

Daerah *Base Metal* (BM) pada spesimen ditunjukkan pada Gambar 7. *Base metal* adalah daerah yang tidak terkena efek panas selama proses *stirring*. Bentuk struktur mikro pada daerah ini tidak mengalami perubahan bentuk [3]. Hal ini dikarenakan proses perlakuan *cold work rolling* yang diterima oleh AA 1100 pada saat proses *hardening*.



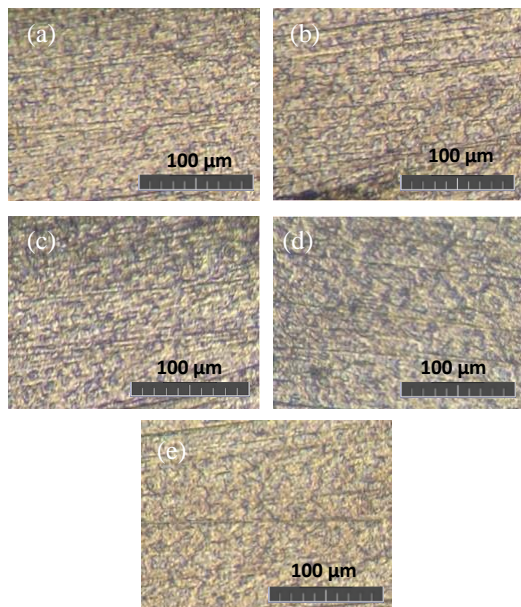
Gambar 7. Daerah base metal AA 1100.

Daerah *Shoulder Affected Zone* (SAZ) pada setiap variasi spesimen ditunjukkan pada Gambar 8. SAZ memiliki ukuran butir yang lebih kecil dibandingkan daerah lainnya. Butir tersebut terbentuk akibat area yang terdeformasi oleh gesekan dari putaran *shoulder*. Panas yang dihasilkan dari gerakan *tool* menyebabkan terjadinya rekristalisasi sehingga ukuran butir menjadi kecil [5]. Yadav, dkk [9] menyatakan bahwa partikel Zn yang dimasukkan ke dalam aluminium dapat membentuk *solid solution*. Partikel Zn akan berdifusi dengan aluminium seiring meningkatnya deformasi plastis yang terjadi [9]. Semakin banyak *volume* Zn yang dimasukkan maka akan semakin meningkatkan partikel Zn yang berdifusi dengan aluminium. Hal ini memperkuat dugaan bahwa terdapat perbedaan pada FSP AA 1100 dengan penambahan partikel Zn dan tanpa partikel Zn.



Gambar 8. Daerah SAZ variasi volume Zn (a) 22 mm³, (b) 45 mm³, (c) 67 mm³, (d) 90 mm³, dan (e) tanpa Zn.

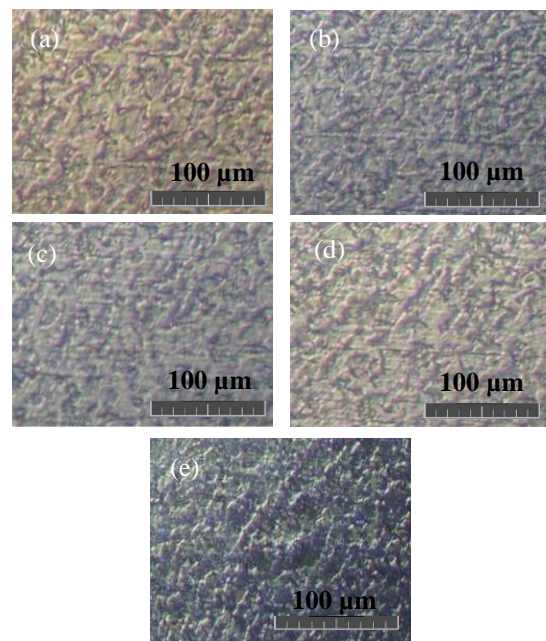
Daerah TMAZ pada setiap variasi kajian ditunjukkan pada Gambar 9. Daerah TMAZ merupakan daerah pada material yang terkena efek panas selama proses *stirring* dan memiliki ukuran butir yang lebih luas dibandingkan pada daerah SAZ. Efek panas tersebut mengakibatkan terjadinya rekristalisasi, dimana ketika mencapai temperatur rekristalisasi ditahan akan menghasilkan *grain growth* yang menyebabkan ukuran butir lebih besar [25]. Selain itu, daerah tersebut juga mengalami deformasi plastis akibat desakan dari gerakan putar *tool* [26]. Deformasi plastis yang terjadi mengikuti arah aliran adukan material, sehingga terdapat perbedaan bentuk dan ukuran disetiap variasi kajian.



Gambar 9. Daerah TMAZ Variasi Volume Zn (a) 22 mm³, (b) 45 mm³, (c) 67 mm³, (d) 90 mm³, dan (e) Tanpa Zn.

Padhy, dkk [17] mengatakan bahwa TMAZ adalah daerah yang memiliki arah orientasi butir yang terbentuk karena mengikuti arah aliran adukan material. Perbedaan *volume* Zn yang digunakan dalam kajian ini juga mempengaruhi bentuk butir pada daerah TMAZ. Hal ini dikarenakan jumlah partikel Zn yang berdifusi dengan Al berbeda-beda pada setiap variasinya. Sehingga, hal tersebut juga mempengaruhi perbedaan nilai kekerasan yang terjadi pada daerah TMAZ.

Daerah HAZ pada setiap variasi kajian ditunjukkan pada Gambar 10. Daerah HAZ adalah daerah yang menerima energi panas cukup besar pada saat proses *stirring*, tetapi daerah ini tidak mengalami deformasi plastis [28]. Energi panas tersebut dihasilkan dari kecepatan putar *tool* selama proses *stirring* berlangsung. Kecepatan putar *tool* yang digunakan dalam kajian ini konstan pada setiap variasi. Sehingga tidak terjadi perubahan bentuk butir yang signifikan pada daerah HAZ di setiap variasi kajian. Selain itu, daerah HAZ juga tidak terjadi difusi antara Zn dan Al. Hal ini dikarenakan daerah HAZ tidak terkena penambahan partikel Zn [13]. Oleh karena itu, nilai kekerasan pada daerah HAZ relatif sebanding di setiap variasinya.



Gambar 10. Daerah HAZ variasi volume Zn (a) 22 mm³, (b) 45 mm³, (c) 67 mm³, (d) 90 mm³, dan (e) tanpa Zn.

Pengujian SEM (*Scanning Electron Microscopy*) kajian ini dilakukan pada penampang melintang spesimen. Pengujian SEM dilakukan untuk memperkuat dugaan bahwa pada daerah yang berwarna gelap terdapat partikel Zn pada pengujian struktur makro. Hasil pengujian SEM juga terdapat warna gelap dan terang, dimana warna terang diduga terdapat partikel Zn yang menyebar ke tepi akibat gerak rotasi dari *tool*.

Gambar 11(a) menunjukkan hasil uji SEM dengan variasi volume Zn 22 mm³. Pada hasil pengujian tersebut terdapat perbedaan warna, dimana daerah warna terang diduga terdapat partikel Zn yang teraduk oleh gerak rotasi *tool* yang mengakibatkan distribusi Zn bergerak ke tepi. Meskipun distribusi Zn banyak bergerak ke arah tepi, tetapi pada bagian tengah permukaan tersebut hanya mengandung sedikit partikel Zn [9].

Hasil uji *mapping* ditunjukkan pada Gambar 11(b) yang menunjukkan bahwa pada daerah terang terdapat partikel Zn. Hal tersebut dibuktikan dengan persebaran titik-titik berwarna ungu pada daerah tersebut. Terlihat pada hasil uji *mapping* tersebut partikel Zn banyak menyebar ke arah samping. Hal ini dikarenakan oleh gerakan rotasi *tool* yang mengakibatkan partikel Zn bergerak mengikuti arah aliran material dan teraduk pada saat proses *stirring* berlangsung [30]. Parameter *volume* Zn pada kajian ini juga mempengaruhi persebaran partikel Zn. Semakin banyak *volume* Zn maka semakin banyak partikel Zn yang tersebar.

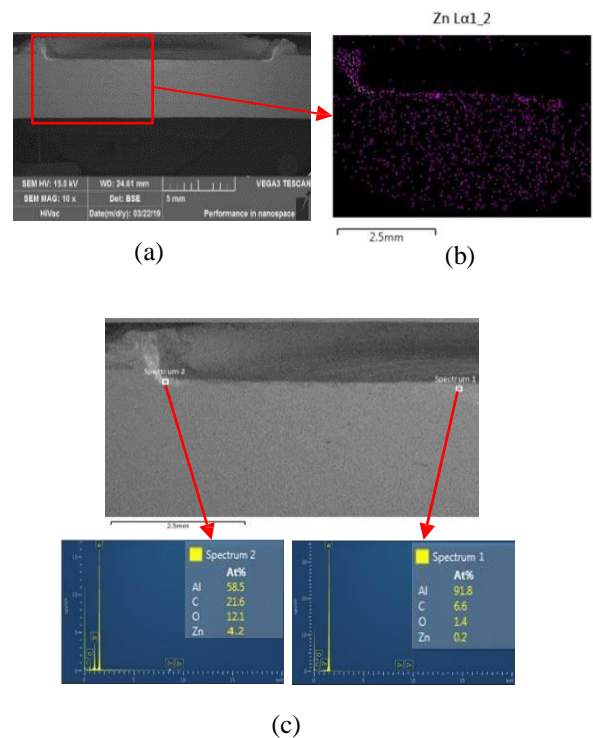
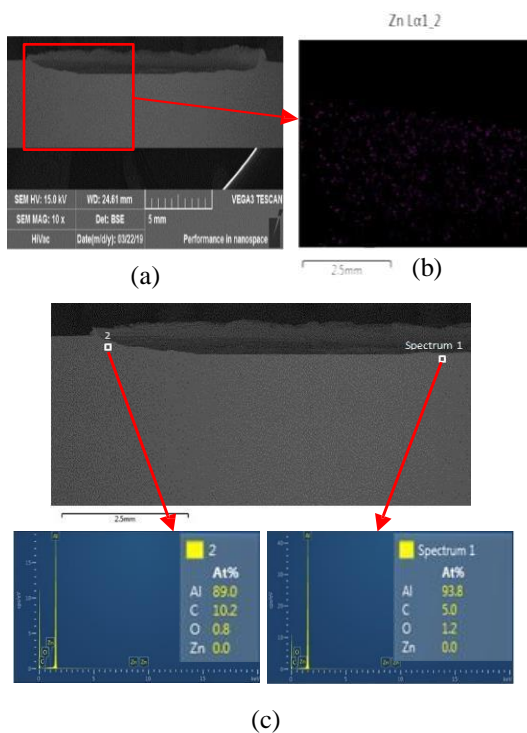
Hasil uji EDS *volume* Zn terendah (22 mm³) ditunjukkan pada Gambar 11(c). Pengujian tersebut dilakukan pada daerah *under tool* dengan dua titik berbeda. Titik pertama berada di tengah, dimana kandungan partikel Zn yang terdapat pada daerah tersebut sebesar 0,2 %. Sedangkan titik kedua berada pada pojok kiri dari *under tool* dengan kandungan Zn sebesar 4,2 %. Hal ini berbanding lurus dengan hasil uji SEM dan *mapping*, dimana distribusi Zn banyak ke arah samping *tool* dibandingkan daerah permukaan

banyak *volume* Zn maka kandungan partikel Zn semakin meningkat.

Gambar 11. (a) Hasil uji SEM dengan partikel Zn, (b) Hasil uji *mapping* dengan partikel Zn, (c) Hasil uji EDS dengan partikel Zn.

Hasil uji SEM tanpa Zn ditunjukkan pada Gambar 12(a), pada hasil pengujian tersebut tidak terdapat perbedaan warna gelap dan terang pada daerah hasil pengelasan. Hal tersebut diduga bahwa tidak ada partikel Zn pada permukaan hasil FSP. Hasil uji *mapping* ditunjukkan pada Gambar 12(b), dimana pada daerah tersebut didominasi oleh aluminium dan tidak terbukti adanya partikel Zn.

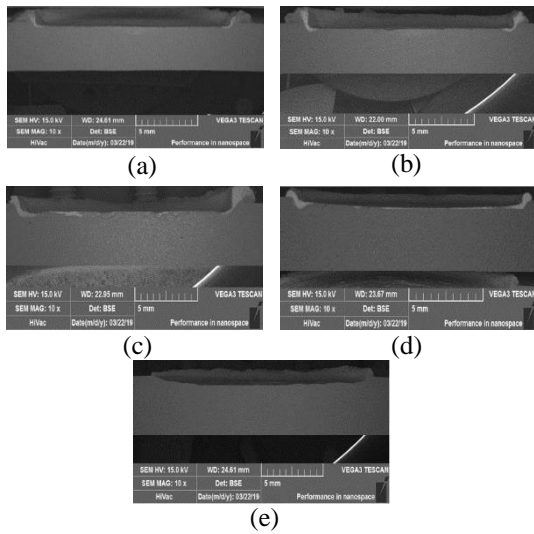
Gambar 12(c) menunjukkan hasil uji EDS tanpa Zn. Pengujian ini dilakukan seperti pengujian EDS sebelumnya yang dilakukan pada bagian *under tool* dengan dua titik berbeda. Hasil uji EDS pada variasi tanpa Zn menunjukkan tidak adanya kandungan partikel Zn. Hal ini dibuktikan dengan kandungan Zn di kedua titik sebesar 0 %.



Gambar 12. (a) Hasil uji SEM tanpa Zn, (b) Hasil uji *mapping* tanpa Zn, dan (c) Hasil Uji EDS tanpa Zn.

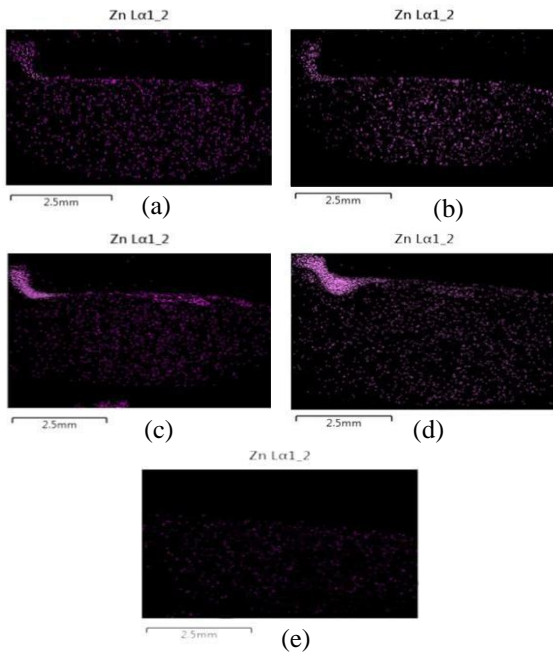
Hasil uji SEM distribusi Zn ditunjukkan pada Gambar 13 dengan variasi *volume* Zn (a) terendah; (d) tertinggi; dan (e) tanpa Zn. Variasi *volume* Zn terendah (22 mm³) menunjukkan bahwa terdapat unsur Zn yang paling sedikit. Sedangkan pada variasi *volume* Zn tertinggi (90 mm³) menunjukkan terdapat banyak unsur Zn. Sehingga, semakin banyak *volume* Zn maka unsur Zn akan bertambah banyak. Hal tersebut berlawanan dengan variasi tanpa Zn, dimana tidak terdapat unsur Zn pada variasi tersebut.

tengah spesimen [9]. Parameter pada kajian ini juga mempengaruhi hasil kandungan partikel Zn. Semakin



Gambar 13. Hasil uji SEM variasi volume Zn (a) 22 mm³, (b) 45 mm³, (c) 67 mm³, (d) 90 mm³, dan (e) tanpa Zn.

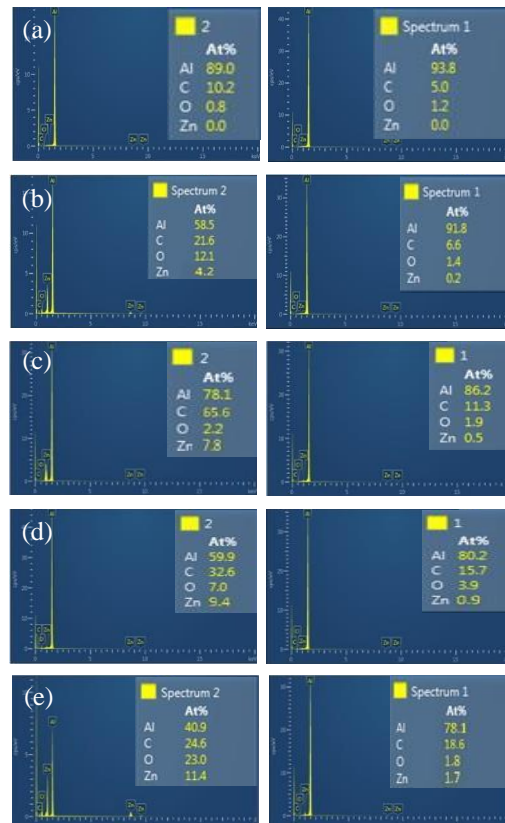
Pengujian *mapping* dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui distribusi Zn selama proses pengelasan berlangsung. Pengujian ini juga untuk memperkuat dugaan adanya unsur Zn yang sesuai dengan uji SEM. Pada Gambar 14 terlihat distribusi Zn semakin banyak seiring meningkatnya *volume* Zn. Bauri, dkk [9] menyatakan bahwa persebaran unsur Zn menyebabkan atom-atom Zn berdifusi dengan atom-atom Al, sehingga terjadi proses mekanisme penguatan material *solid solution*.



Gambar 14. Hasil uji mapping variasi volume Zn (a) 22 mm³, (b) 45 mm³, (c) 67 mm³, (d) 90 mm³, dan (e) tanpa Zn.

Pengujian EDS dilakukan untuk mengetahui kandungan Zn yang terdapat pada setiap variasi kajian ini. Pengujian ini juga untuk memperkuat dugaan adanya partikel Zn yang sesuai uji SEM dan *mapping*. Gambar 15 (e) menunjukkan hasil uji EDS tanpa Zn. Hasil yang didapatkan pada pengujian tersebut memperlihatkan bahwa kandungan partikel Zn pada kedua titik sama, yaitu memiliki kandungan Zn 0 %. Hal ini disebabkan karena tidak adanya penambahan partikel Zn ketika proses pengelasan berlangsung [12].

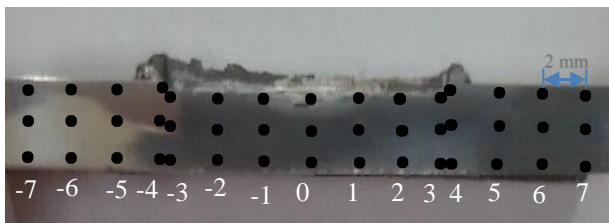
Pengujian EDS ditunjukkan pada Gambar 15. Hasil pengujian EDS yang diperoleh pada Gambar 15(a) menunjukkan kandungan Zn di kedua titik 0 %. Hasil uji EDS dengan *volume* Zn 22 mm³ atau variasi dengan *volume* Zn terendah ditunjukkan pada Gambar 15(b). Hasil yang didapatkan pada pengujian tersebut memperlihatkan bahwa kandungan partikel Zn pada kedua titik berbeda, dimana titik 1 (*Spectrum 1*) lebih rendah dibandingkan dengan titik 2 (*Spectrum 2*). Kandungan Zn yang terdapat pada titik 1 sebesar 0,2 % sedangkan pada titik 2 sebesar 4,2 %. Hal ini dikarenakan partikel Zn bergerak mengikuti aliran material dan teraduk ke samping yang diakibatkan oleh gerak rotasi *tool*. Sehingga, banyak partikel Zn yang mengendap ke tengah [9]. Kandungan Zn pada Gambar 15(c) sebesar 7,8 % dan 0,5 %. Kandungan Zn pada Gambar. 15(d) sebesar 9,4 % dan 0,9 %. Gambar 15(e) dengan *volume* Zn terbanyak memiliki kandungan Zn 11,4 % dan 1,7 %. Semakin banyak



volume Zn maka kandungan Zn juga semakin meningkat pada spesimen.

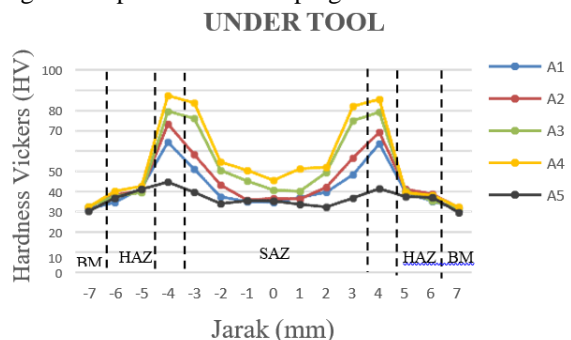
Gambar 15. Hasil uji EDS variasi volume Zn (a) 22 mm³, (b) 45 mm³, (c) 67 mm³, (d) 90 mm³, dan (e) tanpa Zn.

Pengujian kekerasan dalam kajian ini menggunakan Metode Uji Keras *Vickers*. Pengujian ini menggunakan spesimen yang telah dipotong melintang. Penempatan titik uji keras ditunjukkan seperti pada Gambar 16. Pengambilan nilai kekerasan terbagi menjadi 3 bagian, yaitu bagian atas, tengah, dan bawah. Pada bagian atas dilakukan dibawah *under tool* dengan jarak 1 mm dari permukaan. Bagian tengah dilakukan pada tengah-tengah spesimen. Sedangkan bagian bawah dilakukan dengan jarak 1 mm di atas permukaan bawah spesimen. Jarak antar titik pengujian kekerasan pada kajian ini adalah 2 mm. Penempatan titik dan bagian pengujian ini berlaku untuk semua spesimen setiap variasi *volume Zn*.



Gambar 16. Lokasi titik uji vickers.

Material AA 1100 tanpa perlakuan memiliki nilai kekerasan 30,5 HV. Hasil pengujian kekerasan dengan variasi *volume Zn* pada bagian SAZ (*Shoulder Affected Zone*) atau *under tool* ditunjukkan pada Gambar 17. *Trend* yang terjadi pada hasil pengujian tersebut menunjukkan hasil yang hampir sama, yaitu bertambahnya *volume Zn* mengakibatkan nilai kekerasan semakin meningkat. Terlihat pada daerah SAZ (*Shoulder Affected Zone*) yang mengalami peningkatan kekerasan dengan bertambahnya *volume Zn*. Kemudian nilai tersebut meningkat secara signifikan pada daerah samping SAZ.



Gambar 17. Diagram hasil uji kekerasan bagian *under tool*.

Berdasarkan hasil pengujian keras didapatkan nilai kekerasan di SAZ lebih tinggi dibandingkan di BM, tetapi lebih rendah dibandingkan dengan daerah samping SAZ. Hal tersebut diakibatkan oleh panas gesekan dari gerakan *tool* yang lebih tinggi pada

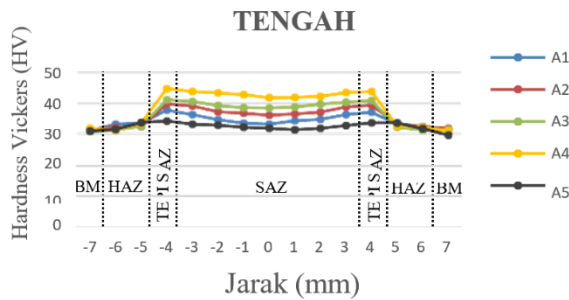
daerah SAZ selama proses FSP [31]. Penurunan nilai kekerasan daerah SAZ diakibatkan hilangnya efek *strain hardening* dari penguatan aluminium secara *cold working*. Hilangnya efek *strain hardening* dikarenakan aluminium telah mencapai suhu rekristalisasinya pada saat proses pengelasan [32]. Hal ini mengakibatkan hilangnya efek *dislocation density* dan berkurangnya ikatan antar butir. *Dislocation density* merupakan jumlah banyaknya dislokasi pada suatu luasan material [33].

Daerah SAZ mengalami peningkatan kekerasan akibat terjadinya rekristalisasi dan deformasi plastis. Rekristalisasi mengakibatkan ukuran butir menjadi lebih kecil. Semakin kecil ukuran butir maka kekerasan semakin meningkat [20]. Ukuran butir pada daerah SAZ hampir memiliki ukuran yang sama. Hal ini dikarenakan adanya intensitas deformasi plastis yang terjadi. Deformasi plastis pada kajian ini berhubungan dengan kedalaman cetakan yang digunakan. Semakin tinggi cetakan yang dibuat maka deformasi plastis yang terjadi semakin sedikit. Hal ini dikarenakan aluminium pada bagian bawah cetakan semakin tipis sehingga ikatan antara atom Al dan Zn semakin berkurang. Berkurangnya deformasi plastis yang terjadi mengakibatkan kekerasan menjadi menurun, tetapi dengan adanya penambahan *volume Zn* maka kekerasan semakin meningkat [9]. Hal ini dikarenakan semakin tinggi cetakan maka *volume Zn* yang digunakan semakin banyak. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa peran partikel Zn lebih dominan terhadap kekerasan daripada ukuran butir.

Daerah samping SAZ memiliki nilai kekerasan paling tinggi. Daerah tersebut selain mengalami panas gesekan juga mengalami deformasi plastis. Deformasi tersebut menyebabkan perubahan butir dari butir terekristalisasi menjadi butir terdeformasi [28]. Selain itu, dikarenakan distribusi Zn yang tidak merata pada bagian SAZ mengakibatkan Zn cenderung bergerak menyusup ke samping selama proses *stirring* berlangsung. Ketika proses *stirring* berlangsung, energi panas yang semakin besar membuat butir-butir berubah menjadi lebih kecil. Ukuran butir yang semakin kecil menghasilkan ikatan butir yang semakin kuat sehingga terjadi mekanisme penguatan material *solid solution substitutional* [9]. Sedangkan pada daerah HAZ hanya mengalami siklus termal tinggi yang mengakibatkan penurunan nilai kekerasan dibandingkan dengan daerah samping SAZ [34].

Hasil pengujian kekerasan pada bagian tengah spesimen ditunjukkan pada Gambar 18. *Trend* yang terjadi pada hasil pengujian bagian tersebut hampir sama dengan pengujian pada bagian *under tool*, yaitu kekerasan meningkat seiring bertambahnya *volume Zn*. Kekerasan pada bagian ini lebih rendah dibandingkan dengan kekerasan pada bagian *under tool*. Pada hasil uji *mapping*, dimana partikel Zn masuk ke bagian tengah spesimen. Tetapi, distribusi Zn pada bagian tengah spesimen tidak sebanyak pada bagian *under tool*. Hal tersebut dikarenakan pengaruh

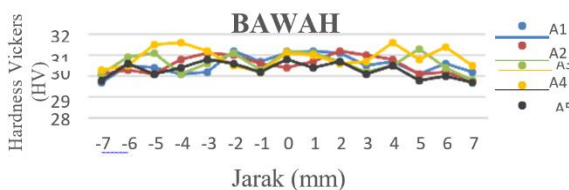
panas akibat putaran dan desakan *tool* yang rendah. Sehingga pada bagian ini hanya mengalami siklus



termal yang tinggi [31]. Nilai kekerasan tertinggi pada bagian ini terdapat pada variasi A4 (dengan *volume* Zn 90 mm³), yaitu dengan nilai 44,7 HV. Sedangkan nilai kekerasan terendah terdapat pada variasi A5 (tanpa Zn), yaitu dengan nilai rata-rata 31,8 HV.

Gambar 18. Diagram hasil uji kekerasan bagian tengah.

Hasil pengujian kekerasan pada bagian bawah spesimen ditunjukkan pada Gambar 19. *Trend* hasil pengujian yang terjadi pada bagian tersebut adalah relatif sama atau konstan, hal tersebut dikarenakan putaran dan desakan *tool* tidak berpengaruh terhadap kekerasan aluminium bagian bawah [31]. Distribusi Zn tidak masuk sampai bagian bawah spesimen, sehingga pada bagian ini partikel Zn dan aluminium tidak berdifusi, dan nilai kekerasan bagian ini secara rata-rata adalah 30,6 HV.



Gambar 19. Diagram hasil uji kekerasan bagian bawah.

4. Kesimpulan

Kajian ini menghasilkan bahwa struktur mikro daerah SAZ memiliki ukuran butir lebih kecil dibandingkan daerah TMAZ, HAZ, dan BM akibat terjadinya rekristalisasi pada daerah SAZ. Daerah SAZ semakin banyak mengandung partikel Zn seiring dengan penambahan *volume* Zn. Al dan Zn berdifusi secara *solid solution interstitial* yang menyebabkan material AA 1100 lebih kuat. Kekerasan permukaan pada material AA 1100 semakin meningkat seiring meningkatnya *volume* Zn. Tingkat kekerasan permukaan tertinggi terdapat pada spesimen dengan *volume* Zn 90 mm³ atau variasi *volume* Zn paling banyak, yaitu 87,5 HV. Sedangkan kekerasan permukaan terendah terdapat pada spesimen tanpa Zn, yaitu 44,7 HV. Penambahan partikel Zn efektif dalam meningkatkan pengerasan permukaan material.

Daftar Pustaka

[1] J. C. Aurich, P. Mayer, B. Kirsch, D. Eifler, Smaga, and R. Skorupski. 2014, "Characterization of deformation induced

surface hardening during cryogenic turning of AISI 347," CIRP Ann. - Manuf. Technol.

[2] R. S. Mishra, R. W. Mahoney, S. X. McFadden, A. Mara, A. K. Mukherjee. 2002, "High strain rate superplasticity in a friction stir processed 7075 Al alloy," Scr. Mater., no. 42, pp. 163–168.

[3] Z. Y. Ma, S. R. Sharma, R. S. Mishra. 2006, "Microstructural modification of as-cast Al-Si-Mg alloy by friction stir processing," Met. Mater. Trans., vol. A 37, pp. 3323–3336.

[4] Sina Ebnesajjad. 2014, "Surface Treatment of Materials for Adhesive Bonding (Second Edition)." Oxford. pp 1-154.

[5] I. Charit and R. S. Mishra. 2018, "Effect of friction stir processed microstructure on tensile properties of an Al-Zn-Mg-Sc alloy upon subsequent aging heat treatment," J. Mater. Sci. Technol., vol. 34, no. 1, pp. 214–218.

[6] B. M. Darras. 2005, "Experimental and Analytical Study of Friction Stir Processing," University of Kentucky Master's Theses. 353.

[7] R. S. Mishra, Z. Y. Ma. 2005, "Friction stir welding and processing," Mater. Sci. Eng., vol. R 50, pp. 1–78.

[8] R. Z. Xu, D. R. Ni, Q. Yang, C. Z. Liu and Z. Y. Ma. 2015. "Influencing mechanism of Zn interlayer addition on hook defects of friction stir spot welded Mg-Al-Zn alloy joints," Mater. Des., vol. 69, pp. 163–169.

[9] D. Yadav, R. Bauri, and N. Chawake. 2018, "Fabrication of Al-Zn solid solution via friction stir processing," Mater. Charact., vol. 136, no. December 2017, pp. 221–228.

[10] S. R. Babu, S. Pavithran, M. Nithin, and B. Parameshwaran. 2014, "Effect of Tool Shoulder Diameter during Friction Stir Processing of AZ31B alloy sheets of various thicknesses," Procedia Eng., vol. 97, pp. 800–809.

[11] R. Balasundaram, V. K. Patel, S. D. Bhole and D. L. Chen. 2014, "Effect of zinc interlayer on ultrasonic spot welded aluminium-to-copper joints," Mater. Sci. Eng. A, vol. 607, pp. 277–286.

[12] V. V Patel, V. J. Badheka, and A. Kumar. 2016, "Effect of velocity index on grain size of friction stir processed Al-Zn-Mg-Cu alloy," Procedia. Tech. vol. 23, pp. 537–542.

[13] A. Boucherit, M. Avettand-fënoël, and R. Taillard. 2017, "Effect of a Zn interlayer on dissimilar FSSW of Al and Cu," Mater. Des., vol. 124, pp. 87–99.

[14] T. S. Bloodworth, G. E. Cook and A. M. Strauss. 2009, "Properties and Forces of Immersed Friction Stir Welded AA6061-T6," Mater. Sci. Eng. vol. 62863, no. 618, pp. 209–210.

[15] Q. Zheng, X. Feng, Y. Shen, G. Huang, and P. Zhao. 2016, "Dissimilar friction stir welding of 6061 Al to 316 stainless steel using Zn as a filler metal," J. Alloys Compd., vol. 686, pp. 693–701.

- [16] Pompy P. Iyan P. Adhipta N.A. 2016, "Physical and Mechanical Properties of Welded Joints Friction Stir Welding (FSW) AA 5083 with a Variation of the Shape and Rotational Speed Probe On Ship Construction," *Scr. Mater.*, vol. 163, no. 9, pp. 369–404.
- [17] G. K. Padhy, C. S. Wu, and S. Gao. 2018, "Friction stir based welding and processing technologies-processes, parameters, microstructures and applications : A review," *J. Mater. Sci. Tech.* vol. 34, pp. 1–38.
- [18] B. Straumal, X. Sauvage, B. Baretzky, A. A. Mazilkin and R. Z. Valiev. 2014, "Grain boundary films in Al-Zn alloy after high pressure torsion," *Scr. Mater.*, vol. 70, pp. 59–62.
- [19] C. Y. Liu, H. J. Jiang, B. Zhang and Z. Y. Ma. 2018, "High damping capacity of Al alloys produced by friction stir processing," *Mater. Characterization.* vol. 136, no. December 2017, pp. 382–387.
- [20] Y. Chen, H. Wang, X. Wang, H. Ding, J. Zhao, F. Zhang and Z. Ren. 2018, "Influence of tool pin eccentricity on microstructural evolution and mechanical properties of friction stir processed Al-5052 alloy," *Mater. Sci. Eng. A.*
- [21] S. Rathee, S. Maheshwari, A. N. Siddiquee, M. Srivastava and S. K. Sharma. 2016, "Process parameters optimization for enhanced microhardness of AA 6061 / SiC surface composites fabricated via Friction Stir Processing (FSP)," *Mater. Today Proc.*, vol. 3, no. 10, pp. 4151–4156.
- [22] Rajiv S. Mishra. 2000, "CHAPTER 2 Introduction to Friction Stir Processing (FSP)," *J. Mater. Pro. Tech.* vol. 2. pp 1-28.
- [23] G. Mathers. 2002, "The welding of aluminium and its alloys". Cambridge England. pp 1-236.
- [24] Z. Shen, X. Yang, Z. Zhang, L. Cui and Y. Yin. 2013, "Mechanical properties and failure mechanisms of friction stir spot welds of AA 6061-T4 sheets," *J. Mater.*, vol. 49, no. October 2017, pp. 181–191.
- [25] K. Esterling. 1992, "Physical Metallurgy of Welding 1." University of Exeter. p. 282.
- [26] R. G. Narayanan. 2018, "Effect of hole diameter on joint strength and joint formation in Effect of hole diameter on joint strength and joint formation in Dieless friction stir form joints between dissimilar aluminum alloy," *Procedia Manuf.*, vol. 26, pp. 255–266.
- [27] A. Kumar, H. Chelladurai and S. Tiwari. 2017, "Effect of Pre-Heat Time on Force During Friction Stir Welding Of Aluminium 1050 Alloy," *Mater. Today Proc.*, vol. 4, no. 2, pp. 3618–3626.
- [28] Y. Ni, L. Fu and H. Y. Chen. 2019, "Effects of travel speed on mechanical properties of AA7075-T6 ultra-thin sheet joints fabricated by high rotational speed micro pinless friction stir welding," *J. Mater. Process. Tech.*, vol. 265, no. June 2018, pp. 63–70.
- [29] A. K. Shettigar, G. Salian, M. Herbert and S. Rao. 2013, "Microstructural Characterization and Hardness Evaluation of Friction Stir Welded Composite AA6061-4 . 5Cu-5SiC (Wt .%)," vol. 63, no. 4, pp. 429–434.
- [30] Z. Liu, H. Cui, S. Ji, M. Xu and X. Meng. 2016, "Improving Joint Features and Mechanical Properties of Pinless Fiction Stir Welding of Alcala 2A12-T4 Aluminum Alloy," *J. Mater. Sci. Technol.*, vol. 32, pp. 1372–1377.
- [31] J. Peng et al. 2018, "The effect of texture and grain size on improving the mechanical properties of Mg-Al-Zn alloys by friction stir processing," *Sci. Rep.*, no. November 2017, pp. 2–11.
- [32] Z. Liu, H. Cui, S. Ji, M. Xu and X. Meng. 2016, "Improving Joint Features and Mechanical Properties of Pinless Fiction Stir Welding of Alcala 2A12-T4 Aluminum Alloy," vol. 32, pp. 1372–1377.
- [33] R. V. Vignesh and R. Padmanaban. 2018, "Influence of friction stir processing parameters on the wear resistance of aluminium alloy AA5083," *Mater. Today Proc.*, vol. 5, no. 2, pp. 7437–7446.
- [34] J. John, S. P. Shanmughanatan and M. B. Kiran. 2018, "Effect of tool geometry on microstructure and mechanical Properties of friction stir processed AA2024-T351 aluminium alloy," *Mater. Today Proc.*, vol. 5, no. 1, pp. 2965–2979.