

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian terhadap *friction stir welding* telah banyak dilakukan. Beberapa penelitian tentang parameter sifat mekanik, struktur makro dan mikro sudah dilakukan oleh beberapa peneliti.

Edward (2013), melakukan penelitian menggunakan Aluminium paduan 5083 dengan tebal 4 mm dengan ukuran 30 mm x 15 mm menggunakan tiga variasi *pin* yaitu lingkaran (*straight cylindrical*), segitiga (*triangle*) dan segi empat (*square*) dengan travel speed sebesar 0.33 mm/detik serta sudut inklinasi 20°. Kemudian dilakukan pengujian Makro etsa, foto Mikro serta Radiografi dari hasil pengelasan diketahui bahwa bentuk *pin* segi empat (*square*) menimbulkan suhu yang paling besar dari variasi *pin* lingkaran (*straight cylindrical*) dan segitiga (*triangle*) menyebabkan bentuk butir semakin besar, surface irregulariti semakin pendek, tidak ditemukan tunnel defect, kekerasan material bertambah serta diskontinuitas berupa weld flash semakin besar.

AL-Rashdan (2016), melakukan penelitian pengaruh bentuk *pin tool* dengan parameter pengelasan pada sifat mekanik pelat aluminium tebal 5 mm. Tiga bentuk *pin tool* (segitiga, persegi dan bentuk lingkaran) digunakan untuk mengelas pelat aluminium dengan kondisi pengelasan yang berbeda. Telah ditemukan bahwa meningkatkan kecepatan putaran di atas 1000 rpm dapat mengurangi kekuatan sambungan dan memiliki permukaan pengelasan yang buruk. Kekerasan pelat aluminium ditemukan lebih tinggi ketika menggunakan *pin tool* bentuk segitiga dari bentuk lainnya. Untuk kecepatan rotasi rendah (560 rpm), bentuk *pin tool* tidak secara signifikan mempengaruhi sifat mekanis dari sambungan.

Tarmizi (2016), Pada penelitian ini proses FSW dilakukan pada aluminium seri 5052 T0 dengan bentuk sambungan tumpul sebanyak 9 pelat. Parameter yang divariasikan adalah design bentuk *pin* dengan bentuk segitiga ulir, silinder ulir dan kerucut ulir. Selanjutnya dilakukan pengujian yang meliputi pengamatan uji radiografi, uji tarik, uji keras dan pemeriksaan metalografi. Hasil penelitian bahwa

dengan variasi bentuk *pin* segitiga ulir, silinder ulir dan kerucut ulir menyebabkan nilai kekerasan dan kekuatan tarik meningkat serta terjadi penurunan pada *pin* segitiga ulir. Dari variasi ini hasil kekerasan dan kekuatan tarik tertinggi terdapat pada silinder ulir sebesar 38.27 HV dan 120.442 MPa

Helmi (2017), proses *friction stir welding* aluminium 5083 – H112 menggunakan mesin frais dan *tool* dengan bentuk *pin* tirus beralur, silinder beralur dan segitiga beralur dengan parameter putaran *tool* 1500 rpm, kecepatan pengelasan 29 mm/min, sudut kemiringan *tool* 0° dan kedalaman pembenaman *pin* 4,8 mm menunjukkan proses berlangsung dengan baik. Hasil pengujian mekanik menunjukkan nilai kekerasan sebesar 85 HV dan harga impak rata - rata di sambungan las sebesar 0,24 J/mm<sup>2</sup> menggunakan *pin* tirus beralur lebih tinggi dibandingkan dengan menggunakan *pin* silinder beralur dan segitiga beralur. Kekuatan tarik tertinggi menggunakan *pin* tirus beralur sebesar 172 MPa masih lebih rendah dari kekuatan tarik logam induk sebesar 331 MPa karena adanya cacat pada hasil lasan. Pengamatan struktur mikro menunjukkan butir menjadi lebih halus di daerah daerak adukan dibandingkan daerah Thermo-mechanically Affected Zone , Heat Affected Zone dan logam induk. Proses pengelasan aduk gesek aluminium 5083 – H112 menggunakan *tool* dengan *pin* tirus beralur menghasilkan sifat mekanik dan struktur mikro yang lebih baik daripada menggunakan *pin* silinder beralur atau segitiga beralur

Dari beberapa penelitian di atas dapat disimpulkan bahwa masing-masing bentuk *pin tool* memiliki kekurangan dan kelebihan pada sifat mekanik dan struktur mikro. Hasil penelitian Tarmizi didapat bahwa penggunaan *pin* silinder ulir memiliki kekuatan tarik dan kekerasan tertinggi sebesar 120.442 MPa dan 38.27 HV sedangkan pada penelitian Helmi didapat bahwa penggunaan *pin* tirus beralur memiliki kekuatan tarik dan nilai kekerasan tertinggi sebesar 172 MPa dan 85 HV. Peneliatan yang dilakukan oleh Tarmizi dan Helmi mendapatkan nilai kekuatan tarik dan kekerasan pada bentuk *pin tool* yang berbeda, maka penulis akan melakukan penelitian seperti Tarmizi dan Helmi akan tetapi dengan menambah

variasi bentuk *pin* tool yang akan menjadi parameter dan menggunakan Aluminium dissimilar.

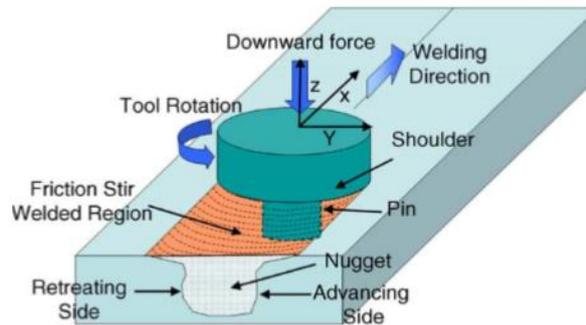
## 2.2 Dasar Teori

### 2.2.1 Pengertian Pengelasan

Pengelasan adalah proses penggabungan bahan yang menghasilkan peleburan bahan dengan memanaskannya ke suhu yang sesuai, tanpa penerapan tekanan, penerapan tekanan saja, dan tanpa menggunakan bahan pengisi. Pengelasan digunakan untuk membuat sambungan permanen. Ini digunakan dalam pembuatan badan mobil, rangka pesawat, kereta api, rangka mesin, pekerjaan struktural, tangki, furnitur, boiler, pekerjaan perbaikan umum dan pembangunan kapal.

### 2.2.2 *Friction stir welding* (FSW)

*Friction stir welding* (FSW) adalah proses penggabungan *solid-state* yang relatif baru. Proses penggabungan ini hemat energi, ramah lingkungan, dan serbaguna. Secara khusus, dapat digunakan untuk menggabungkan paduan aluminium *aerospace* berkekuatan tinggi dan paduan logam lainnya yang sulit untuk dilas oleh pengelasan konvensional. Konsep dasar dari FSW sangat sederhana. Sebuah *tool* yang terdiri dari *pin* dan *shoulder* yang dirancang khusus dimasukkan ke dalam tepi atau lempengan yang akan disambung dan digerakan sepanjang jalur pengelasan antara ujung material. *Tool* ini memiliki dua fungsi utama yaitu sebagai pemanas benda kerja dan menggerakkan material untuk menghasilkan sambungan. Panas yang diperoleh dengan cara gesekan antara *shoulder* dan benda kerja dan deformasi plastis benda kerja. panas yang dilokalisasi dapat melunakkan material. Selama proses FSW, material mengalami deformasi plastis yang intens pada suhu tinggi, menghasilkan butiran rekristalisasi halus dan equiaxed serta menghasilkan sifat mekanik yang baik. Skema proses pengelasan *friction stir welding* ditunjukkan pada gambar 2.1



Gambar 2.1 Prinsip Dasar Proses FSW (Mishra, 2005)

FSW dianggap sebagai perkembangan yang paling signifikan dalam proses penyambungan logam dan merupakan teknologi “green” karena efisiensi energinya, keramahan lingkungan, dan keserbagunaan. Dibandingkan dengan pengelasan konvensional, FSW membutuhkan energi yang jauh lebih sedikit. Tidak ada gas penutup atau flux yang digunakan, sehingga membuat prosesnya ramah lingkungan. Penyambungan tidak membutuhkan penggunaan logam pengisi dan oleh karena itu setiap paduan aluminium dapat tersambung tanpa memperhatikan kompatibilitas komposisi, yang merupakan masalah dalam pengelasan fusi. Paduan aluminium dan komposit yang berbeda dapat disatukan dengan mudah. Berbeda dengan pengelasan gesek tradisional, yang biasanya dilakukan pada bagian-bagian kecil *axisymmetric* yang dapat diputar dan didorong satu sama lain untuk membentuk sambungan, FSW dapat diterapkan ke berbagai jenis sambungan seperti butt joint, lap joint, T butt joint, dan fillet joint.

FSW melibatkan pergerakan material yang kompleks dan deformasi plastis. Parameter pengelasan, geometri *tool*, dan desain sambungan menghasilkan efek yang signifikan pada pola aliran material dan distribusi temperatur, sehingga mempengaruhi perubahan material pada mikro struktur. Dalam bagian ini, beberapa faktor utama yang mempengaruhi proses FSW antara lain:

a) Geometri *tool*

Geometri *tool* adalah aspek yang paling berpengaruh dalam pengembangan proses FSW. Geometri *tool* memiliki peran penting dalam aliran bahan dan dapat mengatur tingkat melintang di mana saat proses FSW

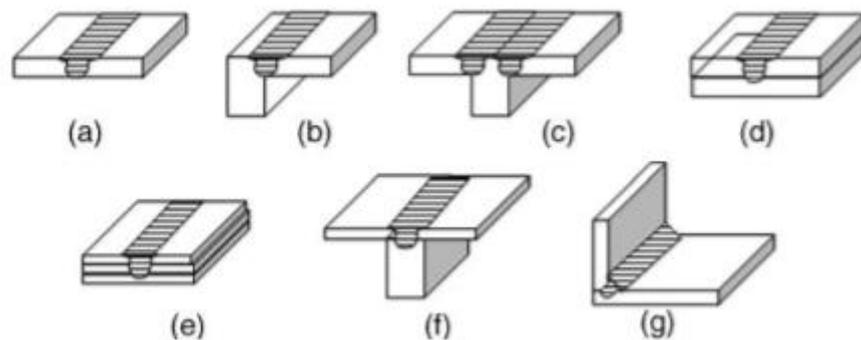
diperlukan. *tool* FSW terdiri dari *shoulder* dan *pin* seperti disebutkan sebelumnya, alat ini memiliki dua fungsi utama yaitu pemanasan lokal dan aliran bahan. Pada tahap awal *tool* berputar sehingga menghasilkan panas terutama dari gesekan antara *pin* dan benda kerja. Beberapa hasil pemanasan tambahan dari deformasi material. *Tool* ini berputar hingga *shoulder* menyentuh benda kerja. Gesekan antara *shoulder* dan benda kerja menghasilkan panas yang besar. Fungsi kedua dari *tool* adalah untuk mengaduk dan memindahkan material.

b) Parameter pengelasan

Untuk FSW, memiliki dua parameter yang sangat penting yaitu laju rotasi *tool* ( $\omega$ , rpm) searah jarum jam atau berlawanan arah jarum jam dan kecepatan pemakanan *tool* ( $v$ , mm/mnt) di sepanjang garis sambungan. Rotasi *tool* menghasilkan pengadukan dan pencampuran bahan di sekitar *pin* yang berputar sehingga *tool* berputar memindahkan material yang diaduk dari depan ke belakang *pin* sampai proses pengelasan selesai. Tingkat rotasi *tool* yang lebih tinggi menghasilkan suhu yang lebih tinggi dan menghasilkan pengadukan yang lebih intens serta pencampuran material. Namun, perlu dicatat bahwa gesekan yang terjadi pada permukaan *tool* dengan benda kerja akan mengatur panas. Jadi, peningkatan yang secara konstan dengan laju perputaran *tool* yang meningkat tidak diizinkan karena koefisien gesekan pada benda akan berubah dengan meningkatnya laju rotasi *tool*.

Selain laju putaran *tool* dan kecepatan pemakanan, parameter proses penting lainnya adalah sudut *spindel* atau kemiringan *tool* dengan permukaan benda kerja. Kemiringan *spindel* yang cocok ke arah trailing memastikan bahwa *shoulder* menahan material yang diaduk dengan *pin* dan memindahkan material secara efisien dari depan ke belakang *pin*. Selanjutnya, kedalaman *pin* ke dalam benda kerja (juga disebut kedalaman target) penting untuk menghasilkan lasan dengan *shoulder* halus. *Pin* harus di desain dengan panjang tidak melebihi tebal plat yang akan dilas agar tidak merusak alas benda kerja (*backing plate*). Gesekan antara *welding tool*

dengan benda kerja akan menimbulkan panas dan daerah sekitar pin akan melunak. Perlu diketahui bahwa perkembangan terkini dari shoulder yang ‘scrolled’ tidak memungkinkan FSW dengan kemiringan *tool*  $0^\circ$ . Preheating atau pendinginan juga dapat menjadi penting untuk beberapa proses FSW tertentu. Untuk bahan dengan titik lebur tinggi seperti baja dan titanium atau konduktivitas tinggi seperti tembaga, panas yang dihasilkan oleh gesekan dan pengadukan mungkin tidak cukup untuk melunakkan dan mengisi bahan di sekitar *tool* yang berputar. Dengan demikian, sulit untuk menghasilkan lasan bebas cacat kontinyu. Di sisi lain, bahan dengan titik leleh yang lebih rendah seperti aluminium dan magnesium, pendinginan dapat digunakan untuk mengurangi pembentukan butir rekristalisasi dan pelarutan penguatan endapan di dalam dan di sekitar zona yang diaduk.



Gambar 2.2 Sambungan pengelasan untuk FSW: (a) *square butt*, (b) *edge butt*, (c) *T butt joint*, (d) *lap joint*, (e) *multiple lap joint*, (f) *T lap joint*, and (g) *fillet joint* (Mishra, 2005)

### c) Desain Sambungan

Bentuk sambungan yang paling baik untuk FSW adalah butt dan lap joint. Sambungan square butt yang sederhana ditunjukkan pada Gambar 2.2. dua pelat atau lembaran dengan ketebalan yang sama ditempatkan pada belakang pelat dan dijepit dengan klem untuk mencegah getaran yang berlebihan atau terjadi pergeseran pada pelat. Selama tool berputar, gaya yang dihasilkan cukup besar dan pengawasan ekstra diperlukan untuk

memastikan bahwa pelat tidak bergeser atau terlepas dari penjepit. *Tool* ini berputar hingga shoulder menyentuh benda kerja. Gesekan antara shoulder dan benda kerja menghasilkan panas yang besar. *Tool* berputar secara vertikal menyentuh pelat atas dan masuk ke pelat bawah dan bergerak sepanjang arah yang diinginkan, penyambungan dengan dua lempeng (Gambar 2.2). Banyak bentuk yang dapat diproduksi dengan kombinasi butt dan lap joints. Terlepas dari bentuk sambungan butt dan lap joints, jenis desain sambungan lainnya, seperti sambungan fillet (Gambar 2.2), juga mungkin diperlukan untuk beberapa aplikasi rekayasa.

Penting untuk dicatat bahwa tidak diperlukan persiapan khusus untuk FSW butt dan lap joint. Dua pelat logam yang bersih dapat dengan mudah disambung dalam bentuk butt atau lap joint tanpa perhatian khusus dari kondisi permukaan *pelat*.

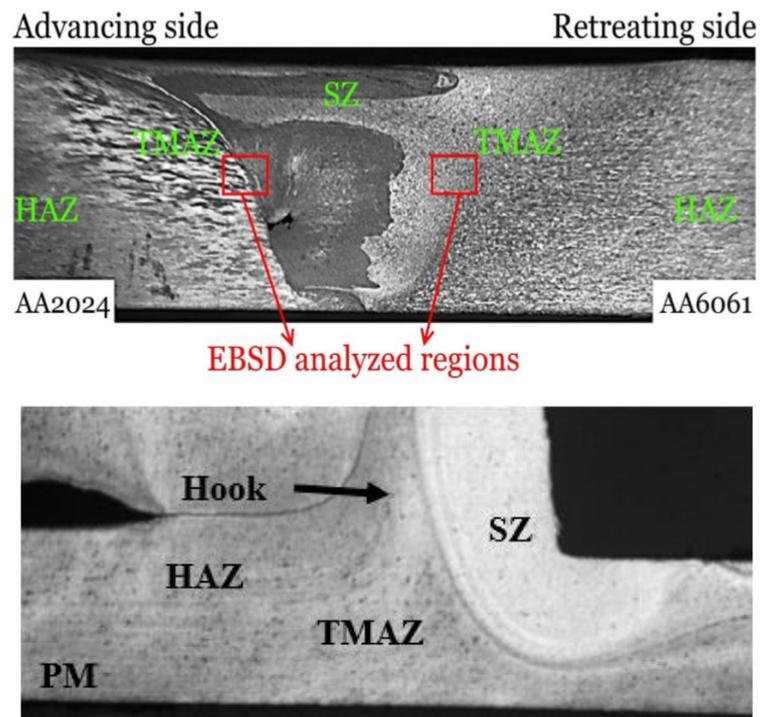
### 2.2.3 Daerah Pengelasan Pada FSW

Daerah pengelasan merupakan daerah yang terpengaruh oleh panas yang menyebabkan perubahan sifat mekanik, struktur makro dan mikro. Namun pada kasus tertentu struktur mikro dan sifat mekanik tidak mengalami perubahan apapun. Bagian daerah pengelasan ditunjukkan pada Gambar 2.3. sedangkan daerah pengelasan dibagi menjadi 4 bagian yaitu :

- a) Parent Material (PM) adalah material yang jauh dari daerah yang dilas yang belum mengalami deformasi namun mungkin mengalami siklus termal dari lasan. Ini tidak dipengaruhi oleh panas dalam hal struktur mikro atau sifat mekanik
- b) The Heat Affected Zone (HAZ) adalah wilayah yang terletak lebih dekat ke pusat las dan telah mengalami siklus termal selama pengelasan yang telah memodifikasi struktur mikro dan / atau properti mekanis, tidak ada deformasi plastik di wilayah ini.
- c) Thermo-mechanically Affected Zone (TMAZ) ditemukan di wilayah di mana alat telah berubah bentuk bahan secara plastis. Dalam beberapa bahan, adalah mungkin untuk mendapatkan regangan plastik yang signifikan tanpa

rekristalisasi di wilayah ini. Ada batas yang jelas antara zona rekristalisasi dan TMAZ

- d) Stir Zone (SZ) adalah wilayah yang sepenuhnya terrekristalisasi, yang berada di sekitar *pin* alat. Butiran dalam zona aduk kira-kira sama dan sering kali lebih besar dari butiran dalam material induk.
- e) Hook adalah fitur karakteristik dari FSW dalam konfigurasi lap di mana ada pembentukan cacat geometri yang berasal dari antarmuka dari dua lembaran yang dilas.



Gambar 2.3 Daerah Pengelasan pada FSW (Moradi dkk, 2018)

#### 2.2.4 Aluminium

Aluminium merupakan unsur yang paling banyak melimpah di bumi dan bisa dikombinasikan dengan unsur lainnya. Aluminium merupakan logam yang banyak digunakan selain baja. Aluminium ditemukan pada tahun 1872 oleh Friedrich Wohler seorang ahli kimia dari Jerman. Di bidang industri aluminium dikembangkan oleh Paul Heroult di Prancis dan C.M. Hall di Amerika pada tahun 1886. Mereka berhasil memperoleh logam aluminium dengan cara elektrolisa.

Aluminium merupakan logam ringan dan ketahanan korosi yang baik dan hantaran listrik yang baik. Sebagai tambahan, terhadap sifat mekanik yang sangat meningkat dengan penambahhan Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Ni, dsb secara keseluruhan dapat memberikan sifat-sifat baik lainnya seperti ketahanan korosi, ketahanan aus, koefisiensi pemuaian rendah dsb, aluminium dipergunakan dalam bidang yang luas bukan untuk peralatan rumah tangga saja namun untuk didunia industri juga sangat diperlukan seperti kedirgaantaraan, perkapalan, kontruksi dsb(Surdia, 1999).

Berdasarkan proses pembuatannya aluminium paduan dibagi menjadi : Paduan Cor (Cast Alloys), dan Paduan Tempa (Wrought Alloys). Menurut American National Standard Institute (ANSI) pengelompokan klasifikasi paduan cor dan paduan tempa dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Klasifikasi aluminium paduan berdasar cara pembuatannya (American National Standard Institute (ANSI))

Wrought Alloys	Alloys Number	Casting Alloys	Alloys Number
Aluminium 99.9% (minimum and greater)	1 XXX	Aluminium 99.9% (minimum and greater)	1 XXX
Alloys grouped by alloying elements :		Alloys grouped by alloying elements :	
Cooper	2 xxx	Cooper	2 xxx
Manganese	3 xxx	Si with Cu and Mg	3 xxx
Silicon	4 xxx	Silicon	4 xxx
Magnesium	5 xxx	Magnesium	5 xxx
Magnesium and Silicon	6 xxx	Zinc	7 xxx
Zinc	7 xxx	Ti	8 xxx
Other Element	8 xxx	Other Element	9 XXX
Unused Element	9 XXX	Unused Element	6 xxx

Pengkodean aluminium berdasarkan International Alloy Designation System adalah sebagai berikut :

- a) Seri 1xxx merupakan aluminium murni dengan kandungan minimum 99% aluminium berdasarkan beratnya. Pengaplikasian aluminium jenis ini adalah untuk tangki dan peralatan dapur. Pengaplikasian aluminium jenis ini adalah untuk tangki dan peralatan dapur.
- b) Tembaga adalah unsur paduan utama dalam paduan seri 2xxx atau dengan magnesium sebagai tambahan sekunder. Paduan ini memerlukan perlakuan panas untuk mendapatkan sifat yang optimal. Paduan aluminium seri 2xxx tidak memiliki ketahanan korosi yang baik seperti kebanyakan aluminium seri lainnya, dan dalam kondisi tertentu mungkin mengalami korosi intergranular. Oleh karena itu, paduan ini dalam bentuk lembaran biasanya dibalut dengan aluminium kemurnian tinggi, paduan magnesium-silikon dari seri 6xxx, atau paduan yang mengandung 1% Zn. Pelapisan, biasanya dari 2 hingga 5% dari ketebalan total pada setiap sisi, memberikan perlindungan galvanik dari bahan inti dan dengan demikian sangat meningkatkan ketahanan terhadap korosi.
- c) Mangan adalah unsur paduan utama dari seri 3xxx. Paduan ini umumnya *non-heat-treatable* tetapi memiliki kekuatan sekitar 20% lebih besar dari alloy seri 1xxx. Karena hanya persentase mangan yang terbatas (hingga sekitar 1,5%) yang dapat secara efektif ditambahkan ke aluminium, mangan digunakan sebagai elemen utama hanya dalam beberapa paduan. Namun, salah satunya, paduan 3003 yang populer, secara luas digunakan sebagai paduan tujuan umum untuk aplikasi berkekuatan sedang yang membutuhkan kemampuan kerja yang baik.
- d) Unsur paduan utama dalam paduan seri 4xxx adalah silikon, yang dapat ditambahkan dalam jumlah yang cukup (hingga 12%) untuk menyebabkan penurunan besar dari rentang leleh tanpa menghasilkan kerapuhan. Untuk alasan ini, paduan aluminium-silikon digunakan dalam kawat las dan sebagai paduan mematri, dimana rentang leleh lebih rendah dari logam

dasar diperlukan. Kebanyakan paduan dalam seri ini non-heat treatable, tetapi ketika digunakan dalam pengelasan paduan yang dapat diolah panas, mereka mengambil beberapa unsur paduan dari yang terakhir dan dengan demikian merespon perlakuan panas sampai batas tertentu. Paduan yang mengandung sejumlah besar silikon menjadi abu-abu gelap menjadi arang ketika selesai oksida anodik diterapkan dan karenanya permintaan untuk aplikasi arsitektur. Alloy 4032 memiliki koefisien ekspansi termal rendah dan ketahanan aus yang tinggi sehingga sangat cocok untuk produksi piston mesin.

- e) Unsur paduan utama dalam paduan seri 5xxx adalah magnesium. Ketika digunakan sebagai elemen paduan utama atau dengan mangan, hasilnya adalah paduan *work hard enable* moderat hingga tinggi. Magnesium jauh lebih efektif daripada mangan sebagai pengeras, sekitar 0,8% Mg sama dengan 1,25% Mn, dan dapat ditambahkan dalam jumlah yang jauh lebih tinggi. Paduan dalam seri ini memiliki karakteristik pengelasan yang baik dan ketahanan yang baik terhadap korosi di atmosfer laut. Namun, pembatasan tertentu harus ditempatkan pada jumlah kerja dingin dan suhu operasi yang aman diperbolehkan untuk paduan magnesium tinggi (lebih dari ~ 3,5% untuk suhu operasi di atas ~ 65 ° C, atau 150 ° F) untuk menghindari kerentanan terhadap stres. korosi retak.
- f) Paduan dalam seri 6xxx mengandung silikon dan magnesium dalam proporsi yang diperlukan untuk pembentukan magnesium silicide ( $Mg_2Si$ ), sehingga membuatnya panas dapat diatasi. Meskipun tidak sekuat paduan seri 2xxx dan 7xxx alloys, alloy seri 6xxx memiliki formability yang baik, kemampuan las, machinability, dan ketahanan terhadap korosi, dengan kekuatan sedang. Paduan dalam gugus yang dapat diolah panas ini dapat dibentuk dalam temper T4 (larutan yang diolah panas tetapi tidak dipanaskan dengan panas yang diolah) dan diperkuat setelah membentuk untuk sifat-sifat T6 penuh dengan perlakuan panas pengendapan.

- g) Zinc, dalam jumlah 1 sampai 8%, adalah unsur paduan utama dalam paduan 7xxx series, dan ketika digabungkan dengan persentase yang lebih kecil dari magnesium menghasilkan paduan yang dapat diolah panas dengan kekuatan sedang sampai sangat tinggi. Biasanya unsur lain, seperti tembaga dan kromium, ditambahkan dalam jumlah kecil. Encerkan penambahan skandium juga meningkatkan properti. Paduan seri 7xxx digunakan dalam struktur air frame, peralatan bergerak, dan bagian lain yang sangat kuat. Kekuatan tinggi paduan 7xxx menunjukkan ketahanan yang berkurang terhadap korosi retak tegangan dan sering digunakan dalam temperamen sedikit *overaged* untuk memberikan kombinasi kekuatan, ketahanan korosi, dan ketangguhan patah yang lebih baik.
- h) Seri 8xxx adalah paduan aluminium dengan paduan berbagai komposisi kimia. Sebagai contoh, peningkatan kinerja suhu tinggi dicapai melalui penggunaan paduan Al-Fe-Ce yang diperkuat dengan dispersi (misalnya, 8019) atau paduan Al-Fe-V-Si (misalnya, 8009) yang dibuat oleh pemrosesan metalurgi serbuk. Kepadatan rendah dan kekakuan yang lebih tinggi dapat dicapai dalam paduan yang mengandung lithium (mis., 8090). Paduan yang terakhir, yang pengendapannya dapat dipadatkan, telah menggantikan paduan 2xxx dan 7xxx berkekuatan sedang hingga tinggi pada beberapa aplikasi pesawat / aerospace (misalnya, komponen helikopter).

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah aluminium seri 5052 dan 1100. Seri 5052 termasuk dalam golongan paduan aluminium seri 5xxx, yaitu paduan aluminium dengan magnesium (Mg). Paduan ini memiliki sifat tidak dapat diperlakukan panas sehingga pengaplikasiannya terbatas hanya pada temperatur rendah. Seri 1100 termasuk dalam golongan paduan aluminium seri 1xxx aluminium ini memiliki kemurnian antara 99,0% dan 99,9%. Aluminium dalam seri ini sifatnya baik dalam tahan karat, konduksi panas dan konduksi listrik. Hal yang kurang menguntungkan adalah kekuatannya rendah. Batas kandungan unsur pada aluminium 5052 dan 1100 dijelaskan pada Tabel 2.2 dan Tabel 2.3 .

Tabel 2.2 Kandungan Unsur Aluminium 5052 (ASM Al 5052-H112)

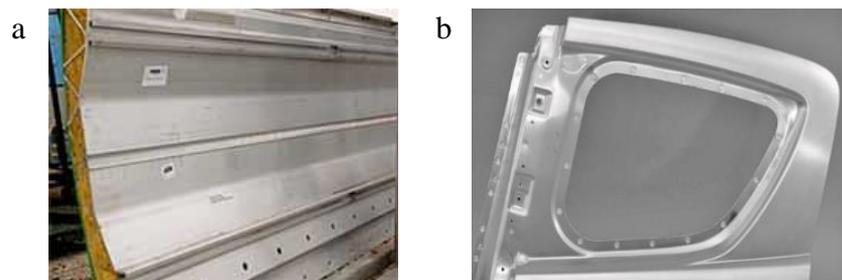
Unsur	Al	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Si	Zn
<b>Jumlah</b>	95.7 –	0.15 -	Max	Max	2.2-	Max	Max	Max
<b>(%)</b>	97.7	0.35	0.1	0.4	2.8	0.1	0.25	0.1

Tabel 2.3 Kandungan Unsur Aluminium 1100 (ASM Al 1100-H14)

Unsur	Al	Cu	Fe	Mn	Si	Zn
<b>Jumlah</b>	99 -	0.050 -	Max	Max	Max	Max
<b>(%)</b>	99.95	0.2	1.0	0.050	1.0	0.1

### 2.2.5 Aplikasi *Friction stir welding* (FSW)

Pengaplikasian FSW di Indonesia tampaknya kurang begitu diterapkan secara meluas. Namun di negara maju seperti Jepang dan Amerika sudah sejak lama mengaplikasikan teknologi ini. Di negara maju telah mengaplikasikan pengelasan FSW ini pada industri pembuatan kapal, kereta api, pesawat terbang, bahkan di dunia otomotif pun sudah mengaplikasikan metode pengelasan ini. Sebagai contoh ditunjukkan pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Aplikasi FSW pada (a) panel kereta bombardier (b) pintu belakang panel luar Mazda RX-8 (Friction stir welding From basics to applications, 2010)