

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Friction Stir Welding (FSW) merupakan salah satu metode pengelasan *Solid State Welding* (SSW), dimana pengelasan berlangsung di bawah titik lebur benda kerja. Wayne Thomas dari *The Welding Institute* menemukan proses pengelasan FSW dan dipatenkan di *United Kingdom* pada bulan desember 1991. Melalui berbagai penelitian sejak pertama kali ditemukan proses FSW telah mengalami banyak perkembangan, baik berupa penelitian tentang parameter *tool*, penelitian parameter proses FSW, penelitian desain sambungan, dan penelitian proses FSW dengan menggunakan material di luar aluminium (Mishra dan Ma, 2005).

Rajakumar dan Balasubramanian (2012), dalam penelitian yang telah dilakukan menyebutkan bahwa faktor yang mempengaruhi hasil pengelasan FSW adalah *welding tool*, kecepatan putar *tool*, kecepatan pengelasan dan kedalaman pembedahan (*depth plunge*). Parameter proses pengelasan yang tepat dapat meningkatkan kekuatan sambungan dan meminimalisir terjadinya cacat.

Romadhoni (2016), melakukan penelitian tentang pengelasan aluminium 1xxx ketebalan 2 mm dengan metode *Friction Stir Welding* (FSW). Pengelasan menggunakan *feed rate* 20 mm/menit, dan variasi kecepatan putaran mesin 2700 rpm, 2300 rpm, dan 980 rpm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan tarik dan tegangan luluh tertinggi ke terendah terjadi pada putaran *tool* 980 rpm sebesar 80,7 dan 79,4 MPa, kemudian terendah 2700 rpm sebesar 68,73 MPa dan 64,5 MPa. Regangan tarik tertinggi terjadi pada kecepatan putar *tool* 2300 rpm, sebesar 14,1%, dan terendah 2,9% pada putaran 980 rpm. Nilai kekerasan tertinggi terdapat pada putaran *tool* 980 rpm sebesar 51,9 VHN dan terendah terdapat pada putaran *tool* 2300 rpm dengan nilai kekrasan 33,4 VHN. Hasil foto struktur makro menunjukkan terdapat cacat *incomplete fusion* sepanjang daerah lasan pada tiap variasi kecepatan putaran *tool*.

Pamungkas (2012), melakukan penelitian tentang pengelasan aluminium AA 1100 ketebalan 4 mm dengan metode *Friction Stir Welding* (FSW).

Pengelasan menggunakan kecepatan putar pahat 780 rpm, 980 rpm, dan 1120 rpm dengan *feed rate* 15 mm/s. Hasil pengujian tarik diperoleh bahwa rata - rata ultimate strength untuk pengelasan dengan menggunakan putaran tool 780 rpm adalah 52.222 Mpa, untuk putaran tool 980 rpm adalah 38.472 Mpa dan putaran tool 1120 adalah 56.528 Mpa. Hasil pengamatan makro diketahui cacat *wormholes* terbesar terdapat pada hasil pengelasan dengan putaran tool 980 rpm dan juga adanya celah karena kurangnya penetrasi dan menimbulkan konsentrasi tegangan pada hasil pengelasan, celah ini juga terjadi pada variasi putaran tool 780 rpm. Pengamatan struktur mikro menunjukkan bahwa bentuk butir pada daerah stir zone partikel FeAl₃ tersebar lebih merata pada matriks Al yang disebabkan adanya proses puntiran pada saat proses pengelasan berlangsung. Pengujian kekerasan menunjukkan bahwa daerah logam yang dilas lebih lunak daripada logam induk, sedangkan daerah TMAZ mempunyai kekerasan yang paling rendah.

Sukmana dan Sustiono (2016), melakukan penelitian tentang pengelasan aluminium 1100-H18 dengan metode *Friction Stir Welding (FSW)*. Variasi yang digunakan adalah kecepatan putar tool 352 rpm, 490 rpm, 653 rpm, dan 910 rpm dengan *feed rate* 20 mm/menit. Pengujian kualitas las menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan rotasi indenter (Rt), akan meningkatkan kekuatan tarik lasan hingga titik maksimumnya. Kekuatan tarik 107 MPa diperoleh pada kecepatan 653 rpm. Mesin frais konvensional Milko-12 dapat digunakan untuk proses pengelasan puntir gesek (*FSW*) pada material aluminium, dibuktikan dengan hasil patahan uji tarik yang berada pada daerah *base metal* (BM).

Sugianto (2013), melakukan penelitian tentang pengaruh arah pengelasan *friction stir welding* dua sisi terhadap *fatigue crack growth* pada konstruksi kapal berbahan aluminium 5083. Dalam penelitiannya dilakukan pengelasan FSW dua sisi antar plat aluminium 5083 H116 secara sambungan *butt*. Pengelasan dilakukan dengan perbedaan arah alur, yakni arah alur sama dan arah alur berlawanan. Hasil pengelasan diuji radiografi, tarik, makroetsa, kekerasan dan fatik. Analisis hasil pengelasan menunjukkan, terjadinya retak awal dari yang tercepat sampai terlambat, yaitu pada pengelasan FSW arah alur berlawanan,

pengelasan FSW arah alur sama terdapat retak di HAZ *advance* dan *retreat*, dan *base metal* aluminium 5083 H116. Untuk nilai ΔK sama, retak akan merambat dari kecepatan terendah ke tertinggi berturut-turut adalah *base metal*, pengelasan FSW arah alur sama (retak di HAZ *retreat* dan *advance*), dan pengelasan FSW arah alur berlawanan.

Baihaqi dan Santoso (2013), melakukan penelitian tentang pengaruh sisi pengelasan terhadap sifat mekanik hasil pengelasan aluminium dua sisi *friction stir welding* aluminium 5083 pada kapal katamaran. Penelitian ini dilakukan pengelasan dua sisi FSW dengan perlakuan yang berbeda, yaitu perlakuan pengelasan FSW sisi sama (permukaan dan akar lasnya mendapat perlakuan yang sama) dan pengelasan FSW sisi berbeda (permukaan dan akar lasnya mendapat perlakuan yang berbeda). Dari hasil percobaan diketahui bahwa tidak terdapat cacat pada kedua spesimen FSW sisi beda dan FSW sisi sama. Nilai kekerasan pada kedua perlakuan pengelasan memiliki kesetaraan yang hampir sama antara sisi *advancing* dan *retreating*, namun harga kekerasan pada FSW sisi beda lebih besar 17.01%. Spesimen FSW sisi beda memiliki sifat mekanik yang lebih baik daripada FSW sisi sama, dengan nilai kuat tarik sebesar 283.605 MPa, lebih besar 3.53% daripada FSW sisi sama.

Dari beberapa tinjauan pustaka yang ditulis dapat disimpulkan bahwa penelitian yang dilakukan oleh Romadhoni (2016) menunjukkan bahwa kekuatan tarik dan tegangan luluh tertinggi ke terendah terjadi pada putaran *tool* 980 rpm sebesar 80,7 dan 79,4 MPa, kemudian terendah 2700 rpm sebesar 68,73 MPa dan 64,5 MPa. Regangan tarik tertinggi terjadi pada kecepatan putar *tool* 2300 rpm, sebesar 14,1%, dan terendah 2.9% pada putaran 980 rpm. Sedangkan penelitian yang dilakukan oleh Pamungkas (2012), diperoleh bahwa rata-rata ultimate strength untuk pengelasan dengan menggunakan putaran *tool* 780 rpm adalah 52.222 Mpa, untuk putaran *tool* 980 rpm adalah 38.472 Mpa dan putaran *tool* 1120 adalah 56.528 Mpa. Untuk penelitian yang dilakukan oleh Sukmana dan Sustiono menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan rotasi indentor (R_t) akan meningkatkan kekuatan tarik lasan hingga titik maksimumnya, yaitu pada saat kecepatan putar 653 rpm, dimana kekuatan tariknya mencapai 107 MPa. Untuk

penelitian yang dilakukan oleh Sugianto (2013), menunjukkan terjadinya retak awal dari yang tercepat sampai terlambat, yaitu pada pengelasan FSW arah alur berlawanan, pengelasan FSW arah alur sama terdapat retak di HAZ *advance* dan *retreat*, dan *base metal* aluminium 5083 H116. Untuk nilai ΔK sama, retak akan merambat dari kecepatan terendah ke tertinggi berturut-turut adalah *base metal*, pengelasan FSW arah alur sama (retak di HAZ *retreat* dan *advance*), dan pengelasan FSW arah alur berlawanan. Untuk penelitian yang dilakukan oleh Baihaqi dan Santoso (2013), menunjukkan bahwa Nilai kekerasan pada kedua perlakuan pengelasan memiliki kesetaraan yang hampir sama antara sisi *advancing* dan *retreating*, namun harga kekerasan pada FSW sisi beda lebih besar 17.01%. Spesimen FSW sisi beda memiliki sifat mekanik yang lebih baik daripada FSW sisi sama, dengan nilai kuat tarik sebesar 283.605 Mpa, lebih besar 3.53% daripada FSW sisi sama.

2.2 Dasar Teori

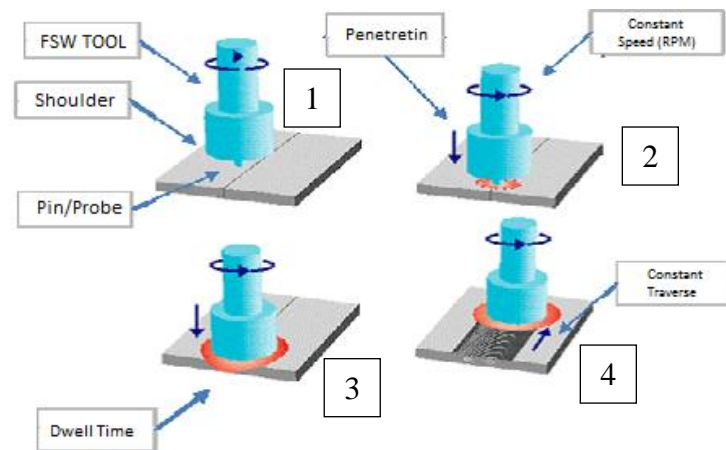
2.2.1 Pengertian Friction Stir Welding

Friction Stir Welding (FSW) adalah suatu teknologi pengelasan yang merupakan proses *solid-state joining* yang bisa digunakan untuk menyambungkan material yang berbeda. Pada proses FSW, material yang dilas tidak benar-benar mencair pada saat proses berlangsung (temperatur kerjanya tidak melewati titik lebur benda kerja) sehingga FSW termasuk *unconsumable solid-state joining process* (Thomas, dkk., 1991)

2.2.1.1 Prinsip Kerja *Friction Stir Welding*

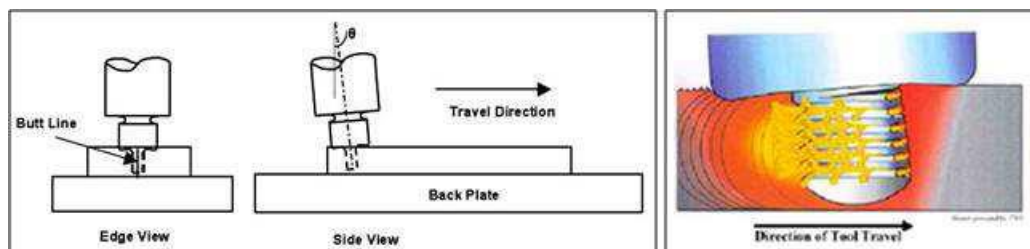
Dalam proses kerjanya *tool* pengelasan dengan atau tanpa profil yang terpasang pada *probe* berputar dan bergerak dengan kecepatan konstan sepanjang jalur sambungan antara dua material yang dilas. Benda kerja harus dicekam dengan kuat pada ragum untuk mempertahankan posisinya akibat gaya yang terjadi pada waktu pengelasan. Panjang *pin/probe* harus lebih pendek daripada tebal benda kerja dan *shoulder* dari *tool* harus bersentuhan dengan permukaan benda kerja yang akan dilas.

Gesekan antara *pin/probe* dan *shoulder* dari *welding tool* dengan material benda kerja menghasilkan gesekan panas (*frictional heat*). *Frictional heat* bersama dengan panas yang dihasilkan dari proses pengadukan mekanik (*mechanical mixing*) akan menyebabkan material yang diaduk akan melunak tanpa melewati titik leburnya (*melting point*), sehingga *tool* pengelasan memungkinkan untuk bisa bergerak sepanjang jalur pengelasan. Ketika *pin welding tool* bergerak sepanjang jalur pengelasan, permukaan depan *pin* akan memberikan gaya dorong plastis terhadap material ke arah belakang *pin* sambil memberikan gaya tempa yang kuat untuk mengkonsolidasikan logam las.



Gambar 2.1 Prinsip Dasar Proses FSW (Polmear, 1995)

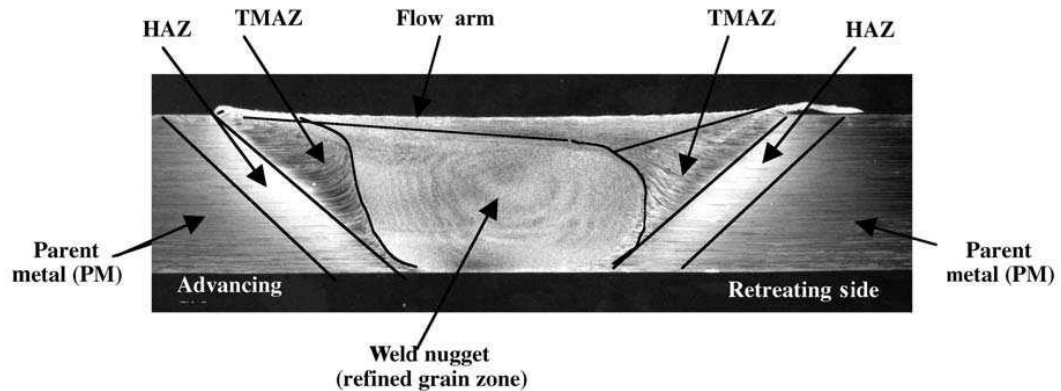
Benda yang akan dilas harus dicekam dengan baik dan ditempatkan diatas *backing* plat sehingga beban yang diberikan pada *tool* dan diteruskan ke benda kerja tidak menyebabkan bagian bawah plat yang dilas terdeformasi.



Gambar 2.2 Skema Kerja FSW (Polmear, 1995)

Panas yang dihasilkan dari proses tersebut membuat material yang ada di sekitar *pin* menjadi melunak dan material yang ada didepan *pin* bergerak ke belakang *pin* akibat adanya gerak rotasi dan translasi dari *tool*. Hal ini terjadi terus

menerus selama gerak translasi berlangsung dan menghasilkan sambungan yang diinginkan.



Gambar 2.3 *Heat Zone* pada FSW (Rahayu, 2012)

Akibat adanya panas yang terjadi, maka terjadi perubahan struktur mikro pada area yang di las, dan dapat dibagi menjadi 4 zona yaitu (Gambar 2.3):

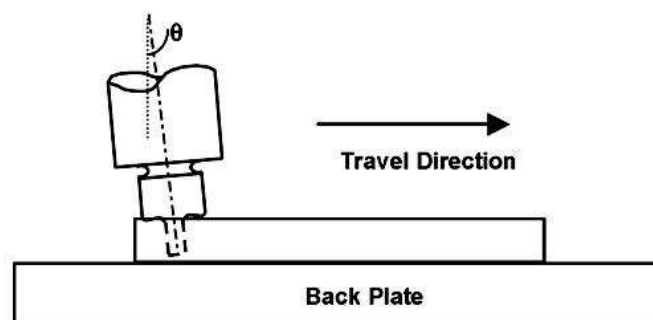
1. **Base metal**, merupakan bagian material yang tidak terkena pengaruh panas yang dihasilkan selama proses FSW berlangsung.
2. **Heat-Affected Zone (HAZ)**, merupakan area yang paling dekat dengan daerah pusat pengelasan, material pada area ini sudah mengalami siklus termal yang menyebabkan perubahan struktur mikro dan sifat mekanik dari base material, tetapi pada area ini tidak terjadi deformasi plastis akibat pengelasan.
3. **Thermomechanically Affected Zone (TMAZ)**, pada area ini *tool* mendeformasi material secara plastis dan tentunya panas yang dihasilkan pada saat proses pengelasan juga membawa pengaruh terhadap material. Pada material aluminium panas tersebut memungkinkan untuk menghasilkan regangan plastis tanpa adanya proses rekristalisasi. Dan biasanya ada batas yang jelas yang membedakan antara area rekristalisasi (*weld nugget*) dan area TMAZ yang terdeformasi.
4. **Weld Nugget**, adalah area yang disebut juga dengan *stir zone* yang secara utuh mengalami rekristalisasi. Area ini merupakan area yang menghasilkan sambungan akibat gerakan *tool* (Thomas dkk, 2006).

2.2.2 Siklus Proses Friction Stir Welding

Siklus dari proses FSW dapat dibagi-bagi menjadi beberapa langkah dimana pada masing-masing langkah memiliki aliran panas dan *thermal profile* yang berbeda, siklus-siklus tersebut adalah (Arifin dkk, karakter aluminium *casting*):

1. **Dwell Time**, Pada langkah proses pemanasan awal dilakukan pada benda kerja dengan cara membiarkan *tool* berputar tanpa gerak translasi (*stationery*). Pada langkah ini material yang ada dibawah *tool* dipanaskan hingga benar-benar melunak dan *tool* siap untuk bergerak translasi sepanjang *joint line*. Biasanya pada langkah ini juga proses penetrasi *pin/nib* dimulai.
2. **Transient Heating**, pada saat *tool* mulai untuk bergerak translasi biasanya ada saat pemanasan sementara dimana pada saat itu panas yang diciptakan dan suhu pada sekitar *tool* menjadi tidak stabil dan bergerak hingga menjadi *steady-state* pada saat *tool* sudah mulai bergerak.
3. **Pseudo steady-state**, walaupun pada saat proses berlangsung terjadi fluktuasi suhu pada area sekitar *tool* tetapi secara termal pada area tersebut sudah konstan paling tidak secara mikrostruktur.
4. **Post Steady State**, pada saat menjelang akhir dari proses pengelasan, panas akan meningkat pada sekitar *tool*.

2.2.3 Depth of Weld dan Kemiringan Tool



Gambar 2.4 Skema *Stir Welding* (Polmear, 1995)

Depth of Weld dapat diartikan sebagai kedalaman titik terendah *tool shoulder* yang menembus benda kerja sedangkan kemiringan *tool* adalah besarnya sudut yang dibuat antara sumbu *tool* dengan permukaan benda kerja yang harus diperhatikan karena akan sangat mempengaruhi hasil dari FSW. Kemiringan yang

dibuat adalah 2-4° dimana bagian belakang *shoulder* lebih rendah dibandingkan dengan bagian depannya (Gambar 2.4).

2.2.4 Desain Tool

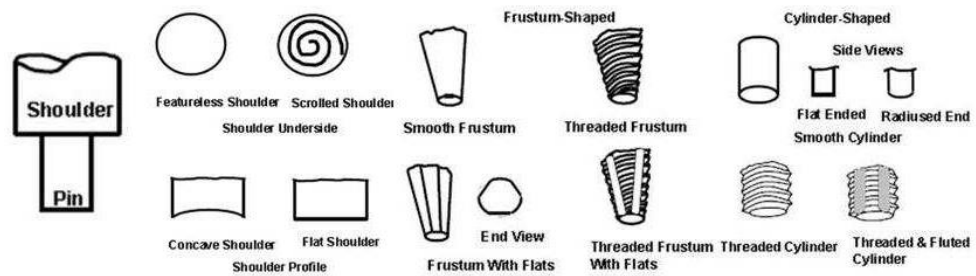
Salah satu faktor penting yang mempengaruhi struktur mikro, profil dan sifat mekanik sambungan adalah desain *tool*. Material *tool* merupakan faktor yang menentukan akan kehandalan *tool*, koefisien gesek, dan pembangkitan panas. Oleh karena itu desain *tool* merupakan hal yang sangat penting dari FSW.

Hal pertama yang harus diperhatikan pada saat merancang *tool* yang akan digunakan adalah pemilihan material yang akan digunakan, beberapa karakter material yang harus dipenuhi oleh sebuah *tool* adalah :

1. Memiliki kekuatan yang baik di suhu ruang dan di suhu tinggi.
2. Stabilitas material tetap terjaga pada saat suhu tinggi
3. Tahan gesek dan aus.
4. Material yang digunakan tidak bereaksi dengan benda kerja
5. Memiliki ketangguhan yang baik
6. *Thermal expansion* rendah
7. Homogen secara *microstructure* dan masa jenis
8. Tersedia luas di pasaran.

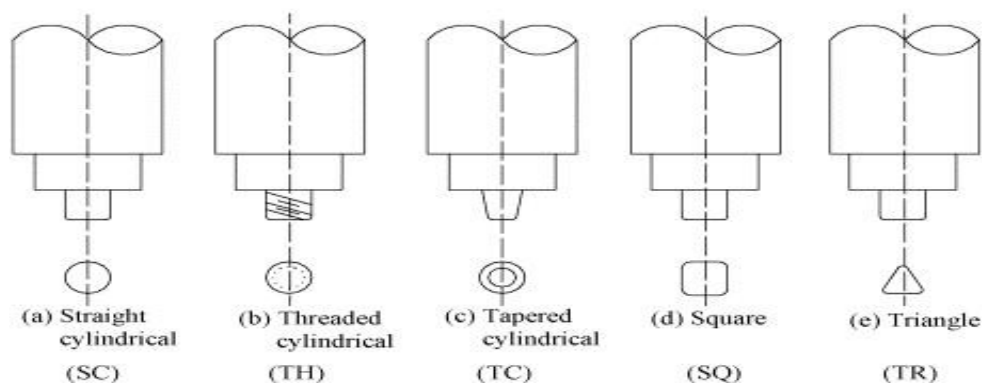
Hal yang kedua adalah bentuk dari *shoulder* dan pin dari *tool*, dua bagian utama dari sebuah *tool* yang digunakan dalam FSW adalah :

1. ***Shoulder*** (Gambar 2.5) bagian ini adalah bagian yang membangun panas dengan gesekan yang dilakukan terhadap benda kerja, bagian ini juga yang menjadi penahan material panas yang ada dibawahnya. Disamping itu bagian ini juga yang memberikan gaya vertikal ke arah benda kerja yang menjaga kondisi kontak *tool* dengan benda kerja.



Gambar 2.5 Konfigurasi Desain *Tool* FSW (Thomas dkk, 1991)

2. ***Pin/Nib/Probe*** (Gambar 2.6) adalah bagian yang melakukan penetrasi ke dalam benda kerja, dimana bagian dari *tool* ini adalah bagian yang mengaduk material atau mengalirkan material yang sudah lunak akibat panas yang dihasilkan *shoulder*, sehingga dapat menciptakan suatu sambungan antara dua material.



Gambar 2.6 Contoh Desain *Pin* pada *Tool* FSW (Elangovan & Balasubramanian, 2007)

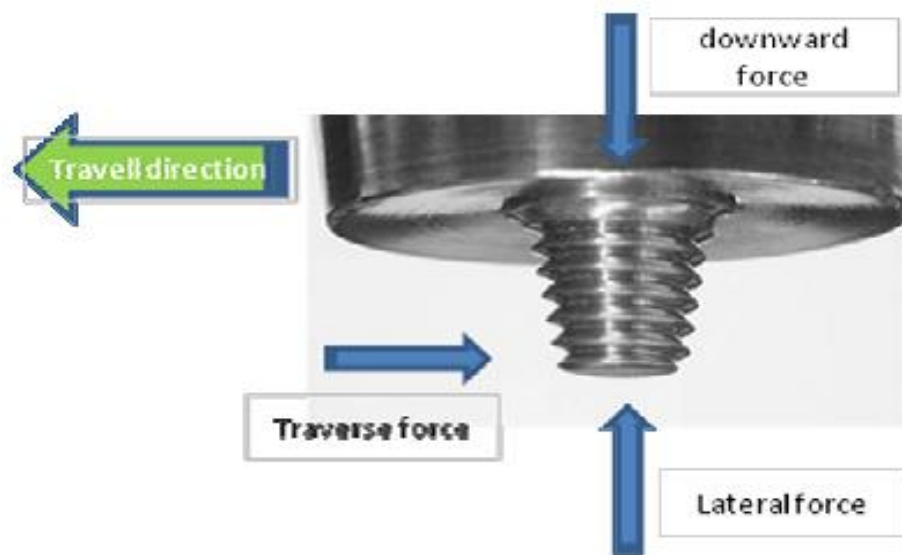
Selanjutnya adalah ukuran dari *tool*, diameter *shoulder*, diameter *pin*, panjang *pin* dan panjang *tool* secara keseluruhan diatur sesuai dengan proses yang diinginkan yaitu ketebalan benda kerja, kemiringan *tool* pada saat proses, kekuatan sambungan dan *clearence* antar benda kerja.

2.2.5 Gaya Pada *Friction Stir Welding*

Dibawah ini adalah beberapa gaya yang terjadi pada proses kerja FSW ditunjukkan pada (Gambar 2.7) :

- a. ***Downward force***, merupakan gaya utama yang dipakai untuk mempertahankan posisi *tool* pada atau dibawah permukaan material benda kerja.

- b. **Traverse force**, gaya yang sejajar dengan arah pergerakan *tool*. Peningkatan gaya *transversal* merupakan wujud resistansi material terhadap pergerakan *tool* dan sejalanannya proses gaya ini akan berkurang sejalan dengan naiknya temperatur kerja.
- c. **Lateral force**, yaitu gaya yang tegak lurus dengan arah dari pergerakan *tool* dan merupakan reaksi gaya dari *downward force*.
- d. **Torsi**, dibutuhkan untuk memutarakan *tool*, besarnya tergantung dari *downward force* dan nilai koefisien gesek atau *flow strength* dari material.



Gambar 2.7 Gaya-gaya pada FSW (Rahayu, 2012)

2.3 Klasifikasi Paduan Aluminium

Aluminium merupakan salah satu logam ringan (*light metal*) yang banyak digunakan dalam konstruksi dan manufaktur setelah baja. Klasifikasi paduan aluminium disusun oleh IADS (*Internasional Alloy Designation System*).

2.3.1 Pengertian Dasar Aluminium

Aluminium adalah bahan campuran yang mempunyai sifat-sifat logam seperti mempunyai ketahanan korosi yang baik dan penghantar listrik, aluminium terdiri dari dua atau lebih unsur, dan sebagai unsur utama campuran adalah logam. Untuk meningkatkan kekuatannya dilakukan penambahan unsur-unsur

seperti Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Ni dan sebagainya. Paduan Aluminium dapat digolongkan menjadi beberapa kelompok utama, yaitu:

1. Paduan Aluminium Tempa (*Aluminium Wrought Alloy*)

Paduan ini diciptakan untuk menghasilkan benda kerja seperti plat, lembaran, ataupun kawat dengan proses *forming*.

2. Paduan Aluminium Cor (*Aluminium Casting Alloy*)

Pada paduan ini, bentuk benda yang diharapkan didapat dari logam cair yang dituang pada cetakan dengan bentuk yang diharapkan dan dibiarkan membeku, sehingga produk yang dihasilkan mendekati bentuk aslinya untuk kemudian di-*finishing*.

3. Paduan aluminium yang dapat diberi perlakuan panas (*Heat-Treatable Aluminium Alloy*)

Pada paduan ini ditambahkan beberapa unsur-unsur yang bertujuan untuk memperkuat aluminium, unsur yang ditambahkan biasanya *copper* (seri 2xxx), magnesium dan silikon (seri 6xxx) dan *zinc* (seri 7xxx). Pada prosesnya material dipanaskan antara 900-1050°F tergantung dari paduannya. Kekuatan paduan aluminium tergantung pada pemanasan, *quenching* dan *artificial aging*.

4. Paduan aluminium yang tidak dapat diberi perlakuan panas (*Non-Heat – Treatable Aluminium Alloy*)

Pada paduan ini ditambahkan beberapa unsur-unsur yang bertujuan untuk memperkuat paduan aluminium dan aluminium murni (seri 1xxx), unsur yang ditambahkan pada paduan jenis ini adalah mangan (seri 3xxx), silikon (4xxx), magnesium (5xxx). Untuk meningkatkan kekuatan dari paduan aluminium ini dilakukan dengan cara memvariasikan suhu dari *cold working* (pendinginan) atau *strain hardening*.

2.3.2 Sifat-sifat Aluminium

Putih kebiru-biruan adalah warna dari aluminium, lebih keras dari timah putih, namun lebih lunak dari pada seng. Kekuatan tarik aluminium adalah 10

kg/mm, penambahan unsur paduan ditujukan untuk memperbaiki sifat mekanis dari aluminium.

Jika dibandingkan dengan logam lain, aluminium mempunyai karakteristik tersendiri diantaranya adalah :

1. Permukaan mengkilap (3 kali lebih mengkilap dari pada besi)
2. Terdapat lapisan oksida yang membuat tahan korosi
3. Tidak beracun
4. Kekuatan yang tinggi
5. Mudah dibentuk
6. Melting point rendah
7. Penghantar panas dan arus yang baik
8. Semakin tangguh pada suhu rendah
9. Kecepatan rambat panas tinggi

Paduan aluminium mempunyai sifat yang kurang baik dalam hal pengelasan, diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Sulit untuk memanaskan dan mencairkan sebagian kecil dikarenakan panas jenis dan daya hantar panasnya tinggi.
2. Daerah yang terkena pemanasan mudah mencair dan menetes karena aluminium mempunyai titik cair dan viskositas yang rendah.
3. Sifatnya yang mudah teroksidasi dan membentuk oksida aluminium yang mempunyai titik cair tinggi, menyebabkan peleburan antara logam dasar dengan logam las menjadi terhalang.
4. Proses pembekuan yang terlalu cepat akan membentuk rongga halus bekas kantong-kantong hidrogen. Hal tersebut disebabkan karena adanya perbedaan yang tinggi antara kelarutan hidrogen dalam logam cair dan logam padat.
5. Mudahnya zat-zat yang tidak dikedendaki masuk kedalam hasil lasan, karena paduan aluminium mempunyai berat jenis yang rendah. Zat-zat tersebut terbentuk selama proses pengelasan.

2.3.3 Unsur-unsur Paduan Logam Aluminium

- a. Besi (Fe) : Untuk mengurangi terjadinya keretakan panas dapat dilakukan penambahan unsur besi pada aluminium.
- b. Manganase (Mn) : Unsur mangan yang ditambahkan pada aluminium dapat memperbaiki *ductility* pada logam aluminium.
- c. Silicon : Unsur silicon yang ditambahkan pada aluminium akan membuat aluminium tahan terhadap korosi, akan tetapi sulit *dimachining*.
- d. Copper : Unsur copper yang ditambahkan pada aluminium dapat membuat logam aluminium mudah untuk *dimachining*.
- e. Magnesium : Unsur magnesium yang ditambahkan pada logam aluminium akan memperbaiki sifat kekuatan, tetapi menjadi sulit ketika pekerjaan proses penuangan.
- f. Zinc : Unsur seng yang ditambahkan pada aluminium akan memperbaiki sifat logam aluminium tahan terhadap korosi dan mengurangi terjadinya keretakan panas dan pengerutan.

2.3.4 Standarisasi Aluminium

Logam aluminium perlu digolongkan berdasarkan komposisi kimia, untuk itulah perlu adanya standarisasi aluminium. Penetapan standarisasi logam aluminium menurut *American Society for Materials* (ASM) mempergunakan angka dalam menetapkan penggolongan aluminium paduan.

Adapun cara-cara yang ditentukan ASTM dalam menetapkan penggolongan aluminium. Sifat umum dari beberapa jenis paduan sebagai berikut:

1. Aluminium murni (kandungan aluminium sebesar 99%) 1xxx
 - a. Memiliki kemurnian antara 99.0% sampai 99.9%
 - b. Konduksi panas dan konduksi listrik
 - c. Tahan karat
 - d. Memiliki kekuatan yang rendah.

2. Copper (Al-Cu) 2xxx
 - a. Tahan korosinya rendah
 - b. Sifat mampu lasnya kurang baik, sehingga banyak digunakan pada konstruksi rivet, pesawat terbang.
3. Manganase (Al-Mn) 3xxx
 - a. Tidak dapat diperlakukan panas, sehingga penaikan kekuatan hanya dapat diusahakan melalui pengerjaan dingin dalam proses pembuatannya
 - b. Tahan korosi
 - c. Sifat mampu potong dan sifat mampu las.
 - d. Memiliki kekuatan yang tinggi.
4. Silicon (Al-Si) 4xxx
 - a. Tidak dapat diperlakukan panas
 - b. Jika dalam keadaan cair mempunyai sifat mampu alir yang baik dan dalam proses pembekuannya tidak terjadi retak.
5. Magnesium (Al-Mg) 5xxx
 - a. Tidak dapat diperlakukan panas
 - b. Tahan korosi terutama korosi oleh air laut
 - c. Memiliki sifat mampu las yang baik.
6. Magnesium dan Silicon (Al-Mg-Si) 6xxx
 - a. Dapat diperlakukan panas
 - b. Memiliki sifat mampu potong dan sifat mampu las
 - c. Daya tahan korosi yang cukup.
7. Zinc (Al-Zn) 7xxx
 - a. Dapat diperlakukan panas
 - b. Unsur yang ditambahkan pada paduan ini adalah Mg, Cu dan Cr
 - c. Tahan korosi

8. Elemen-elemen yang lain 8xxx

Aluminium seri 1xxx dikenal sebagai aluminium yang memiliki ketahanan korosi yang sangat bagus, konduktivitas listrik serta sifat mampu bentuk yang baik, untuk itu pada penelitian ini logam aluminium yang digunakan adalah aluminium seri 1xxx. Aluminium 1100 biasanya digunakan untuk *heat*

exchangers, pressure vessels, pipa, dan lain-lain pada dunia industri (Purwaningrum dan Setyanto, 2011). Komposisi kimia aluminium AA 1100 ditunjukkan pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Komposisi Aluminium AA 1100 berdasarkan *Actual Chemical and Mechanical Test Report in Imperial Nomenclature*

%Si	%Fe	%Cu	%Mn	%Mg	%Ti	%Zn	%Al	UTS (N/mm ²)	Elong (%)
0.14	0.56	0.08	0.01	0.01	0.01	0.02	99.08	119.5	10